



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Plan de Mantenimiento preventivo basado en el RCM para
incrementar la disponibilidad de las maquinarias pesadas de la
empresa Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Eléctrico

AUTORES:

De La Cruz Garcia, Edwin Elias (ORCID: 0000-0002-9392-8531)

Zavaleta Vera, Alexandro Del Piero (ORCID: 0000-0003-0524-1551)

ASESOR:

Mg. Tejeda Ponce, Alex Deyvi (ORCID: 0000-0001-9844-1100)

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios por ser mi inspiración y poder tener la salud para poder cumplir con todo el proceso y culminación, a mis padres Elías y Yolanda por sus consejos y motivaciones en todo momento, a mi esposa Zaira por su amor y amistad incondicional, a mis hijos, Matías y Sofía, por su tiempo y por creer siempre en mí y permitir ser la persona que hoy en día soy.

De La Cruz Garcia Edwin Elias

A nuestros maestros, amigos y familiares por compartirnos sus conocimientos y sus experiencias, por su amistad y paciencia que siempre lo llevaremos presente.

Zavaleta Vera Alexandro Del Piero

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser nuestro creador y guía en todo este proceso y darnos la salud necesaria para la culminación de nuestra carrera y elaboración de nuestra tesis.

A la Universidad Privada César Vallejo, por ser nuestra alma máter y por contar con esa plana de excelentes docentes y todo el personal calificado los cuales se encargan de formar profesionales competitivos.

A la empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L. por confiar en nosotros y permitir realizar nuestra tesis, en especial al Ing. Francisco José Cruz De La Cruz representante de la empresa, y a los colaboradores en general por su apoyo para la recolección de datos y poder realizar la presente investigación.

A nuestros padres, por sus consejos y motivaciones en todo este proceso para cumplir nuestros objetivos, además de ser nuestro apoyo incondicional y respaldarnos en cada acción tomada, asimismo a nuestros maestros, amigos y familiares por brindarnos su amor, comprensión y apoyo en general.

Los autores.

Índice de Contenidos

Índice de tablas.....	v
Índice de figuras	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	10
II. MARCO TEÓRICO.....	18
III. METODOLOGÍA	32
3.1. Tipo y diseño de investigación	32
3.2. Variables y Operacionalización.....	32
3.3. Población, muestra y muestro	33
3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos	34
3.5. Procedimientos	34
IV. RESULTADOS.....	37
V. DISCUSIONES	71
VI. CONCLUSIONES	75
VII. RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS	78
ANEXOS.....	83

Índice de tablas

Tabla 01: Variables y operacionalización	32
Tabla02: Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
Tabla 03: Procedimientos	35
Tabla 04: Resumen de los informes técnicos de enero a mayo del 2021	37
Tabla 05: Resumen del historial de fallas y determinación de indicadores	39
Tabla 06: Análisis de criticidad de las 7 maquinarias	40
Tabla 07: Leyenda y matriz de análisis de criticidad detallada de las Máquinas	41
Tabla 08: Cálculo de análisis de criticidad	41
Tabla 09: Resumen del AMEF para el cargador frontal	42
Tabla 10: Resumen del NPR para el cargador frontal	43
Tabla 11: Resumen del AMEF para la retroexcavadora	44
Tabla 12: Resumen del NPR para la retroexcavadora	45
Tabla 13: Resumen del AMEF para el minicargador	46
Tabla 14: Resumen del NPR para el minicargador	47
Tabla 15: Resumen del programa de mantenimiento preventivo del cargador frontal 950H	49
Tabla 16: Resumen del programa de mantenimiento preventivo para la retroexcavadora	50
Tabla 17: Resumen del programa de mantenimiento preventivo para el minicargador	51
Tabla 18: Resumen de frecuencia de mantenimiento	59
Tabla 19: Indicadores actuales post simulación	63
Tabla 20: Análisis comparativo de indicadores	64

Tabla 21: Resumen de costos inicial por mantenimientos correctivos de las maquinarias pesadas de línea amarilla	65
Tabla 22: Resumen de los costos de la aplicación del programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada	66
Tabla 23: Resumen de ahorro en horas trabajadas	67
Tabla 24: Resumen de ganancia por costo hora – máquina para 900 h	67
Tabla 25: Resumen de ganancia por costo hora – máquina para 2160 h	68

Índice de figuras

Figura 01: Esquematización	31
Figura 02: Número de averías de maquinarias de enero a mayo 2021	38
Figura 03: Creación de entidades	52
Figura 04: Creación de locaciones	52
Figura 05: Creación de recursos	53
Figura 06: Representación de color amarillo	53
Figura 07: Representación de color amarillo, rojo, violeta	54
Figura 08: Asignación de variables	54
Figura 09: Creación de parada de recursos para la situación actual	57
Figura 09.1: Creación de pérdida de recursos para la situación propuesta	58
Figura 10: Creación de parada de recursos para la situación actual	59
Figura 10.1: Creación de parada de recursos para la situación propuesta	60
Figura 11: Creación de turnos de trabajo	60
Figura 12: Creación de arribos	61
Figura 13: Asignación de tiempos	61
Figura 14: Ejecución de simulación	62
Figura 15: Resultados de simulación	62
Figura 16: Porcentaje de disponibilidad actual y propuesta	63

RESUMEN

El presente estudio utilizó una investigación de tipo aplicativo, con un diseño de investigación que tuvo un carácter pre experimental, en donde la población fueron las 40 maquinarias de la empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L, y la muestra fueron las 7 maquinarias pesadas de línea amarilla. Se emplearon como herramientas, fichas de observación, ficha de entrevistas, ficha de registros de datos, cálculos de formulaciones, los informes técnicos, el historial de fallas, formato del análisis de modo y efectos de falla, formato de número prioritario de riesgos, formatos de plan de mantenimiento preventivo, simulación mediante software promodel para determinar la efectividad del plan. De este modo, obtuvimos como primer resultado los indicadores iniciales de mantenimiento, lo que nos arrojó un nivel inicial de disponibilidad total de 81% y una confiabilidad del 77%, seguidamente determinamos que maquinaria fueron las más críticas y concentrar su estudio en ello, y mediante el análisis de amef y npr elaborar el plan de mantenimiento preventivo y con estos datos simularlo en el software promodel lo cual elevó la disponibilidad a un 91% y una confiabilidad del 90%. Finalizando, se concluyó que gracias al plan de mantenimiento preventivo la disponibilidad aumentó un 10% y la confiabilidad en 14%.

Palabras clave: Plan de mantenimiento, Confiabilidad, Disponibilidad, Simulación, Plan de mantenimiento Preventivo.

ABSTRACT

The present study use dan application-type investigation, with a research design that had a pre-experimental nature, where the population was the 40 machinery of the Company JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L, and the simple was the 7 heavy machinery with a yellow line. The tolos used were observation files, interview file, data record sheet, formulation calculations, technical reports, failure history, failure mode and effects analysis format, risk priority number format, formats of preventive Maintenance plan, simulation using promodel software to determine the effectiveness of the plan. In this way, we obtained as a first result the initial Maintenance indicators, which gave us an initial level of total availability of 81% and a reliability of 77%, then we determined which machinery was the most critical and focus its study on it, and through the analysis of amef and npr, prepare the preventive Maintenance plan and with this data simulate it in the promodel software, which increased availability to 91% and reliability to 90%. Finally, it was concluded that thanks to the preventive Maintenance plan, availability increased by 10% and reliability by 14%.

Keywords: Maintenance plan, Reliability, Availability, Simulation, Preventive Maintenance Plan.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente muchas empresas constructoras tienen la inquietud constante de reducir costos y mejorar sus indicadores de mantenimiento de las unidades móviles afines a su prestación de servicios. Por estas razones desde hace algún tiempo el hombre se ha apoyado en nuevas tendencias tecnológicas para reducir el impacto que generan los activos en mal estado y la consecuente predisposición para mejorar las condiciones de trabajo definiendo funciones que impacten en la disminución de fallas y así la producción para con esto tener una economía rentable.

En países de primer nivel demostraron incrementos notables en lo que respecta a la industrialización de maquinaria, esto se evidencia en los mercados que están en globalización constante; ya que éstos deben ser competitivos y ofrecer diferentes productos de alta calidad, de tal manera las empresas que fabrican maquinarias están en la obligación de satisfacer todas las exigencias del cliente externo, para que así puedan optimizar los trabajos requeridos de una manera acelerada y efectiva, esto lo ha demostrado la Asociación Alemana de fabricantes de máquinas – herramientas (VDW), que para año 2017 llegaron a crecer el 4%, a través de los procedimientos indicados, internamente sus ganancias para ese año fueron de 15 700 millones de euros, y en el tema de la exportación las ganancias fueron de alrededor de 10,1 mil millones de euros que representa el 71% de ventas en lo que respecta a exportación.

De tal manera, en el país de Alemania como varios países que son potencia mundial están interesados en desarrollar tecnologías novedosas, la prioridad que tienen es que el cliente siempre quede satisfecho, de esta forma se mantiene dentro de la competencia a nivel mundial debido a los resultados que entregan inmediatamente. Las compañías que deseen mostrar sus servicios y productos de calidad, deben de estar aprobadas y certificadas por la Organización Internacional de Normalización; ésta norma frecuentemente estimula que debe existir la planificación en el tema de mantenimiento para que sea adecuado en sistemas o maquinarias y sea aprovechado por la compañía, con estos pasos planificados se debe disminuir inesperadas interrupciones. Además de aprovechar al máximo el

recurso humano, tener una mejor organización en la adquisición de accesorios o repuestos para así poder lograr que las máquinas tengan un mejor rendimiento. (ISO, 2015).

Las normas ISO, dispone que en una compañía se tiene que realizar una serie de procedimientos de acuerdo a mantenimiento; la preocupación por el mantenimiento se inició en la década de 1950, por eso años las industrias tuvieron que hacer apresuradas restauraciones debido al efecto que trajo segunda guerra mundial, de esta manera en el tema de manufactura las industrias tuvieron que ser más competitivas. En un principio los japoneses comenzaron con una nueva ideología la cual era seguir de manera precisa todo lo que el fabricante recomendaba en protección y cuidado de las máquinas. Lo que en la actualidad podemos conocer como “mantenimiento preventivo”, seguidamente daban incentivos a los especialistas encargados del control de las maquinarias, estos tenían que llevar a cabo programas los cuales fueron: lubricación de los equipos cada cierto tiempo, informar y anotar si alguna maquinaria tuvo fallas o averías, de esta forma ayudaría en que momento prevenirlas. A pesar de que estos procedimientos disminuían considerablemente el tiempo que paraba una máquina o equipo por alguna falla, seguían existiendo problemas en el ámbito económico porque ello implicaba costos elevados y algunas operaciones ineficientes.

Como se puede apreciar en lo indicado anteriormente, mencionamos acerca de la duración de los equipos y máquinas, aquí es donde determinamos un tema muy importante que es el “mantenimiento preventivo”, éste mantenimiento es direccionado hacia la confiabilidad la cual es de vital importancia realizarla en las compañías, debido a que nos puede brindar elevada fiabilidad en el manejo de las máquinas o equipos, además nos puede asegurar que se llegue a cumplir con las funciones que fueron diseñadas en el contexto operacional, y por último también llega a beneficiar a que el operario reduzca los probables riesgos que tenga en su lugar de trabajo. A pesar de todos estos beneficios, la mayoría de las empresas actúan después de ocurrida alguna falla, así eliminan de todo contexto la fiabilidad de la operación o manejo de las maquinarias, en la industria el tema de “confiabilidad” se le dio interés en la década de 1960, en donde se le dio más

importancia en contar con programas que sean más efectivos de mantenimiento, todo esto fue determinado a consecuencia de la llegada del avión Boeing 747.

Para poder llevar a cabo la fabricación o construcción de aviones se debía una confiabilidad lo más óptima posible debido al movimiento económico que se manejaba, para esto aplicaron prácticas de mantenimiento, haciéndose las siguientes preguntas ¿En qué momento efectuarlo?, ¿Qué hacer?, esto fue con la finalidad de reducir los accidentes. Todo esto dio origen al tema de “Confiabilidad Centrada en el mantenimiento”; actualmente con los estudios avanzados en mantenimiento, se pueden elaborar mecanismos cada vez más dinámicos para poder tener un mantenimiento planificado, asimismo desarrollar estrategias nuevas, como por ejemplo el TPM (Total Productive Maintenance – Tiempo Productivo Total) y el mantenimiento basado en riesgos (Christiansen, 2018). Desgraciadamente, en la actualidad varias compañías no han podido experimentar la relación que existe entre un eficaz plan de mantenimiento y el fruto que ésta brinda que es una alta confiabilidad en las máquinas o equipos.

Desde el punto de vista latinoamericano, varias empresas solo están enfocadas en aumentar sus utilidades, en relación con esto, se puede observar que no tienen en cuenta la mejora y corrección de aspectos de índole interno que impactan sobre mejores utilidades, y para que una empresa pueda lograr un buen desarrollo éstas partes son de vital importancia. La IMG (2020), indica que las empresas deben centrarse en que incrementen su productividad en sus servicios y procesos, estos indicadores deben exhibir el costo, para esto el cliente tiene que ser beneficiado servicios de alta calidad; es por esto la importancia de un buen y eficaz plan de mantenimiento preventivo que tenga como base el RCM para así poder incrementar disponibilidad y confiabilidad de los equipos o máquinas que realizan secuencia de procedimientos y entrega como efecto una optimizada productividad. Por ello, la confiabilidad y el mantenimiento preventivo, es de vital importancia para que en las empresas todos los equipos o máquinas realicen las funciones encargadas; no obstante, eluden el tiempo de los equipos o máquinas que están fuera de servicio y los precios altos a consecuencia de fallos no previstos que pueda existir en las máquinas o equipos. Por consiguiente, si se presenta un problema que tenga una solución difícil, se necesita realizar y planificar un programa de mantenimiento, para

esto implica realizar exactos registros de la mayoría de controles y servicios, asimismo de tener conocimiento acerca de piezas en relación con su vida útil para poder entender con qué frecuencia se deben de cambiar los repuestos, éstos datos registrado lo realizan los profesionales en el área de mantenimiento para saber el momento exacto que se debe realizar la sustitución o reparación de alguna pieza además de brindar un análisis al problema presentado, debido a que ya existe un reporte de servicios y registro de inspecciones realizadas con anterioridad. La consecuencia de que no exista un adecuado programa de mantenimiento preventivo en una compañía, es la manifestación de diversas dificultades como por ejemplo: accidentes operativos, máquinas o equipos con fallas y diferentes aspectos que traen afectaciones a la compañía.

En ámbito nacional, las medianas y pequeñas empresas, no llevan un correcto control de sus maquinarias en el tema de mantenimiento, debido a que la mayor parte empresas no llevan a cabo un correcto mantenimiento preventivo ya que dejan muchas veces de lado a este tipo de mantenimientos , ya los dueños y encargados de las maquinarias asumen que los gastos por mantenimiento no son de mucha importancia , debido a esa mentalidad que tiene hace que se practique no se tenga en cuenta mayormente los mantenimientos correctivos, ya que recién actúan cuando se genera los problemas los cuales genera mayores gastos y perdidas de la máquina, lo cual genera que la empresa no lleve una buena productividad ya que cuenta con un correcto lineamiento de aplicación.

Según INEI (Capítulo 4 – Maquinaria pesada y Vehículos Operativos, 2019), nos indica que las municipalidades del país (1356), tienen maquinarias pesadas de diferentes tipos que realizan trabajos relacionados con la construcción civil, obras que son de prevención ante algún efecto climatológico y también para realizar labores de limpieza pública; por lo tanto al encontrar fallas en las maquinarias, trae por consecuencia muchos problemas como por ejemplo: afectar las horas de trabajo de los encargados, deterioro y rotura de la propia máquina, accidentes, costos elevados por mantenimientos reactivos, etc.

Así mismo INEI nos indica que en el Perú 7 de cada 10 Municipalidades tienen maquinaria pesada operativa, así mismo detallaremos por departamentos ese restante que están fuera de servicio, el departamento que cuenta con más maquina

inoperativa es el de Ancash (65), siguiendo por este camino el departamento de Lima Provincias (64), Amazonas (46), Ayacucho (45), La Libertad cuenta con 12 maquinarias pesadas que se encuentran fuera de servicio debido a la falta de muchos factores, entre ellos la ausencia de un programa de mantenimiento. Pese a ello entre los años 2011 y 2015 aumentaron el número de excavadoras y retroexcavadoras creciendo 116.2% y 81,3% respectivamente, también se produjo un incremento del 39,4% para la adquisiciones de motoniveladoras y 30,2% los tractores orugas y agrícolas.

En las municipalidades es de suma importancia de que se tenga en cuenta un buen plan de mantenimiento preventivo en sus proyectos, debido a que algunas maquinarias se encuentran en total abandono debido a las fallas o averías que no han encontrado algún tipo de solución. La idea que tienen sobre el mantenimiento preventivo nos da entender que para ellos es “desperdicio de tiempo”; internamente dentro de su mala filosofía tienen la concepción de “Reparar las fallas”, para cambiar esa filosofía que tienen en el aspecto de mantenimiento es complicado, lo más recomendable es sustituir ese personal por otro que sea especializado y capacitado en el tema y área de mantenimiento preventivo.

Respecto al entorno local, en la provincia de Chepén gran parte de las compañías constructoras realizan solo las tareas de mantenimiento que para ellos creen convenientes, éstas compañías no toman en serio el tema de mantenimientos preventivos por considerarlos gastos innecesarios y por consecuencia para sus maquinarias solo usan el mantenimiento correctivo, se basan en que no realizan mantenimientos preventivos porque afecta en su producción y costos, además indican que sus máquinas fallan por errores de los operarios, fallas eléctricas o mecánicas imprevistas. Solo un número muy reducido de empresas saben lo significativo que es aplicar el mantenimiento preventivo en el tema de ganancia de costos y tiempos de operación.

De acuerdo a investigaciones con otras compañías que también se dedican a éste rubro empresarial, logramos averiguar que cuentan con la misma problemática que no desean invertir y aplicar un mantenimiento preventivo, a pesar de que un buen plan genera beneficios para las empresas como lo es un incremento en sus ganancias y así como prosperar a nivel empresarial. La ciudad de Chepén

sobresale por ser una zona que limita con otro departamento y a consecuencia de ello existen bastantes proyectos de construcción (Carreteras, colegios, Limpieza Pública) para poder brindar estos servicios se tienen que adquirir diferentes tipos de máquinas livianas o pesadas ya sean de líneas amarillas o azules, éstas adquisiciones pueden ser propias o alquiladas a otras constructoras, puesto que de esto depende los principales ingresos en el tema de trabajo, producción y economía del territorio Chepenano.

La empresa JCC Ingenieros Contratistas, se encuentra localizada en el departamento de La Libertad, provincia de Chepén, distrito de Chepén, ésta se encuentra inmersa en el rubro de la construcción civil, uno de sus primordiales objetivos es buscar la innovación, fidelidad, optimización, sistematización y la eficiencia, con la finalidad de ser más confiable y así entregar buenos proyectos que sean de utilidad para la sociedad.

La compañía en la actualidad cuenta con una flota en general de 40 vehículos, de los cuales 7 son maquinaria pesada de línea amarilla; entre éstas se encuentran Retroexcavadores de marca CATERPILLAR, modelo 420F, y 2 420F2 de los años 2012, 2019 y 2020 respectivamente, también cuenta con un Cargador Frontal de marca CATERPILLAR, modelo 950h, del año 2012, y por último se tiene tres mini cargadores de marca CATERPILLAR, dos de éstos tiene el modelo 242B que se fabricaron en el año 2008, y por último cuentan con un modelo 246B3, del año 2020, en la mayor parte de éstas máquinas no existe algún tipo o programa de mantenimiento que sea planificado o establecido para así poder tener una distribución de confiabilidad y disponibilidad esto a veces es generado por la ausencia de conocimiento por parte de los operarios encargados, en la empresa se encontró con algunos registros básicos donde se realizaron mantenimientos, en su mayoría fueron reactivos para poder desarrollar las actividades de operatividad.

Dentro de los servicios brindados por la empresa, existen algunos clientes principales como: Minería Toro (Trujillo – Huamachuco), COVISOL (Concesionaria Vía del Sol), Municipalidad Provincial de Pacasmayo, Municipalidad Provincial de Chepén (Trabajos en el distrito de Guadalupe), Municipal Provincial de Chiclayo, Municipalidad Provincial de Ascope; estos son solo unos cuando proyectos que ha realizado en el sector construcción y minería y que han sido el principal aporte

económico de la empresa, en estos trabajos realizados por las maquinarias pesadas, han existido problemas en el área de producción debido al paro imprevisto de algunas maquinarias, por el motivo de movimiento y traslado de tierras, ya que estas actividades realizadas han sido muy duras para las maquinarias disminuyendo la operatividad, debido a que están en constante contacto con superficies rocosas, factores climatológicos, etc.

El problema derivado en dicha empresa constructora, es la ausencia de un programa de mantenimiento preventivo en las maquinarias, pues en la realización de los trabajos en el rubro de construcción civil han existido algunas maquinarias que han presentado paralizaciones y averías cuando han estado realizando sus funciones; por consecuencia de ello se generó pérdidas económicas para la empresa debido a que se vieron obligados a tomar en alquiler maquinaria pesada de otras empresas para poder reemplazar en los trabajos ya iniciados. Consecuentemente, las máquinas paralizadas deben ser atendidas inmediatamente en trabajos de mantenimiento reactivo, cuyos registros indican informalmente problemas de operatividad, ya que esta forma de mantenimiento no ha permitido tener cifrados los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad que se requieren para un buen proceso de mantenimiento.

De acuerdo a lo señalado líneas arriba, los ejecutivos de la empresa están en busca de optimizar sus operaciones y reducir gastos no previstos que salen del control de una política de costos y recuperación de inversión. Por lo tanto, mediante ésta investigación, se ha tenido la iniciativa de desarrollar un estudio con la finalidad de contar con un plan de mantenimiento preventivo que se base en la confiabilidad para así poder aumentar la disponibilidad de la maquinaria pesada de la compañía JCC Ingenieros contratistas y así mantenerlas en óptimas condiciones y operatividad.

A través de lo mencionado se tiene la interrogante: ¿En qué medida la aplicación del plan de mantenimiento Preventivo basado en el RCM incrementará la disponibilidad de las maquinarias pesadas en la constructora JCC Ingenieros Contratistas E I R L?

En tal sentido, podemos establecer como hipótesis, la siguiente: La aplicación del Plan de mantenimiento Preventivo basado en el RCM incrementará la disponibilidad de las maquinarias pesadas en la constructora JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

La Justificación de esta investigación es porque se aplicará conocimientos de mantenimientos ya existentes para solucionar el problema de ésta empresa.

Consecuentemente, en ésta investigación tuvimos como objetivo general: Establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM para incrementar la disponibilidad de la maquinaria pesada y para poder llegar a cumplirlo consideramos los siguientes objetivos específicos: I) Evaluar condiciones e indicadores iniciales de mantenimiento de la empresa Ingenieros Contratistas E.I.R.L. II) Identificar los equipos y/o maquinarias críticas, semi-críticas y no críticas. III) Elaborar los correspondientes análisis de modo y efectos de fallas (AMEF) y calcular el NPR (Número de Prioridad de Riesgos). IV) Elaborar un programa de mantenimiento preventivo basado en el RCM, teniendo en cuenta resultados del AMEF y del NPR. V) Simular mediante software ProModel los resultados post aplicación del plan y determinar nuevos indicadores para contrastación con los iniciales. VI) Evaluar costos de inversión para la implementación del plan y proyectar el beneficio económico de retorno de la inversión.

II. MARCO TEÓRICO

Para la realización del proyecto, se tuvo que incluir trabajos anteriores, con la finalidad de engrandecer la investigación, indagando medios informativos en lo que respecta el ámbito internacional, nacional y local. La recopilación de los estudios empezó con investigaciones a nivel internacional, empezando con la investigación de Buelvas y Martínez (2014), mediante su estudio titulado **“Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L”**. Realizado por la Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Su principal objetivo fue realizar un plan de mantenimiento preventivo que se aplique a toda flota de camiones, vehículos, tractores, para que con el plan pueda mejorar su desempeño operacional de la empresa de transportes. Su método se basó en una descripción minuciosa porque observó cómo funciona la empresa a través de un lapso de tiempo para poder determinar el estado inicial de ésta. Su estudio concluye que gracias a algunas tareas que tiene su plan de mantenimiento, logra evidenciar que la disponibilidad ha presentado una mejora del 9% en solo tres meses, esto le lleva a decir que la propuesta que está trabajando tiene efectividad. El autor también deja de conocimiento que todo plan de mantenimiento debe ser ajustable y cambiante según como va evolucionando los procesos, porque cada tarea que es realizada requiere de un tiempo para que se pueda obtener resultados. Ésta tesis nos contribuye que mediante un programa de mantenimiento preventivo se obtiene mejorar en lo que respecta el indicador de disponibilidad para toda su flota de vehículos y que esto solo se obtuvo en el periodo de 3 meses, lo cual muestra que el plan ha sido efectivo y exitoso. Asimismo, nos dice que toda propuesta de plan de mantenimiento es indispensable un tiempo de gracia para la espera de resultados,

Amado y Campos (2018), que lleva como título **“Plan de Mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de la excavadora CAT-336D2L en la empresa Señor de Pomallucay, Jangas, 2018”**. Realizado por la Universidad César Vallejo – Huaraz, los autores tienen como objetivo principal establecer un plan de mantenimiento preventivo y así poder aumentar el indicador de confiabilidad de la Excavadora CAT-336D2L, el tipo de estudio fue de tipo aplicada porque emplearon conocimientos ya adquiridos, diferentes teorías, técnicas y métodos que se antepusieron al presente estudio. El tipo de diseño de investigación

fue experimental del grupo pre-experimental debido a que hizo la toma de datos para poder saber el nivel inicial de confiabilidad antes de empezar el estudio y consecuentemente implementar el programa de mantenimiento preventivo para poder observar la confiabilidad actual. Los autores llegan a la conclusión que: Mediante los indicadores del MTTR y el MTBF se logró evaluar el nivel de confiabilidad inicial de la maquinaria pesada - excavadora CAT-336D2L la cual era del 87,9%, después de la aplicación del plan de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta su nivel de criticidad, se pudo obtener un aumento en la confiabilidad final el cual fue del 94,5%.

Según Mesa (2020), en su tesis titulada, **“Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora CAT 336 – Compañía Minera Raura S. A. 2019”**, realizado por la Universidad continental de Huancayo, tiene como principal objetivo Implementar un plan de mantenimiento preventivo que tiene como base a la confiabilidad para la mejora en el rendimiento de disponibilidad mecánica en la maquinaria pesada Excavadora CAT 336, su tipo de diseño fue de tipo descriptivo correlacional. Se logró establecer e implementar el plan de mantenimiento preventivo que fue de manera exitosa gracias a que pudo apoyarse en la técnica del RCM y así poder incrementar la disponibilidad en la Excavadora. Entre sus resultados hay distintas respuestas de parte de sus operadores, los cuales un 60% indican que la compañía si cuenta con alguna metodología en la que hacen mantenimiento a sus máquinas, y otro 40% señala que solo existen mantenimientos correctivos. La falla más recurrente en la excavadora es el motor y la corona de giro, donde la mayoría de los operarios indican que la pala es la parte que más se desgasta, otra parte de los operarios señalan que lo que más se desgasta es la cuchara.

Así mismo Mendoza y Gamarra (2020), en su tesis titulada **“Plan de mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Grupo Señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz-2020”**, realizado por la Universidad César Vallejo, contó como su principal objetivo el implementar un plan de mantenimiento preventivo y de ésta manera aumentar la confiabilidad y disponibilidad de las maquinarias., su tipo de diseño fue

de tipo aplicativo debido porque no buscaron nuevos conocimientos sino que aplicaron los ya existentes, además su diseño de investigación fue Experimental de clase pre-experimental, porque tuvieron un mínimo nivel de control y pudieron modificar su variable dependiente, llegaron a la conclusión que, después de hacer su análisis de criticidad de las 10 maquinarias que se evaluaron en un inicio, 4 de éstas estaban con un nivel alta de criticidad. La confiabilidad inicial de las maquinarias estudiadas fue de 84% y se declaró no confiable por estar bajo del 90%, el plan logro distribuir 710 tareas de mantenimiento que involucró un total de 413 horas y un costo total de S/. 66413.00 soles, después de aplicar de mantenimiento preventivo a sus maquinarias, el nivel final de confiabilidad logro subir a un 94%, lo cual aumento en 8%, además de la confiabilidad también se evidenció un aumento en el indicador de disponibilidad el cual fue de un 83% inicialmente y terminando en un 93%.

Labra (2018), en su tesis titulada **“Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la Municipalidad provincial de Canchis - cuzco”**, realizada por la Universidad Nacional del Altiplano, el autor tiene como objetivo principal, realizar el diseño de un plan de mantenimiento preventivo que se base en la metodología de la confiabilidad o RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra. El autor nos indica la metodología que usa para poder llegar a seleccionar sus máquinas y/o equipos más críticos y señala que debido a la metodología del mantenimiento que es centrado en la confiabilidad (RCM), se pudo observar el incremento en la confiabilidad de sus maquinarias, llego a concluir: Identifico sus componentes más críticos mediante una matriz de criticidad, comienza haciendo un análisis de identificación de todos los elementos y la frecuencia que tendría un impacto operacional, costos altos de mantenimiento, seguridad ambiental, sus resultados fueron que en el cargador frontal CAT 938G, existen dos sub sistemas críticos, los cuales son la bomba hidráulica y el subsistema combustible. Además, se cuenta con 4 subsistemas críticas en la Excavadora, las cuales son combustible, lubricación, mangueras hidráulicas y la bomba hidráulica. Para poder determinar la confiabilidad se hizo a través de la Distribución de Weibull teniendo como base el historial de fallas de casi 2 años, estos resultados de confiabilidad inicial fueron importantes para determinar el tipo

de mantenimiento que se utilizara en la investigación, y el mantenimiento más adecuado es el preventivo, éste se debe de aplicar a los diferentes sub sistemas críticos. A través de la distribución de Weibull nos arrojó datos de confiabilidad inicial que para el cargador frontal CAT 938G el cual fue del 70,87%, el mantenimiento preventivo de ésta máquina debe realizarse cada 135 horas que estaría en operación. Para el subsistema de la bomba hidráulica se tiene un MTBF de 250.4 horas, y esto nos arroja que su confiabilidad inicial se encuentra en 70%, y el mantenimiento preventivo que se debe de realizar debe ser en un intervalo de 135 horas de operación. En la Excavadora de la marca Komatsu PC, modelo 350L, analizando en primero lugar el sistema de combustible, cuenta con una confiabilidad inicial del 70%, debido a que tiene un MTBF de 237.9 Horas, entonces el mantenimiento preventivo debe realizarse en un intervalo de 204 Horas que está en operación.

Luna y Toledo (2019), en su investigación que lleva como título **“Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad en las maquinarias de la empresa OSIMIN S.R.L. Huaraz - 2019”**, elaborada en la Universidad César Vallejo de Huaraz, Perú; el objetivo principal destinado por los autores fue: Señalar como la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo hará que incremente el indicador de confiabilidad de las maquinarias. Su investigación fue de un tipo aplicativo, y el diseño de investigación fue pre-experimental, determinaron que la muestra y población en la empresa fueron todas las maquinarias pesadas con la que cuentan. Para la compilación de información necesitaron una encuesta, el check list que utilizan diario, hojas de información y con esto pudieron hacer un formato previo de mantenimiento. Llegan a la conclusión que a través de la implementación del mantenimiento preventivo aumento el indicador de confiabilidad que en un inicio se encontraba en un 78% y llegando hasta un 87%, lo cual evidencia que existió un 9% de aumento en ese indicador, del mismo modo se evidencio un aumento en el indicador de disponibilidad llegando así desde un 89% hasta un 94%, evidenciando un aumento del 5% en ese indicador.

Según Barrientos (2017), en su investigación titulada **“Mejora de la Gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF”**, en su

investigación se utilizó una metodología correlacional, y su objetivo general fue el mejoramiento de las gestiones de mantenimiento en lo que respecta a las maquinarias pesadas todo esto a través de la metodología AMEF y establecer nuevas labores de mantenimiento en el plan de construcción de Puente chino, luego a la conclusión que, gracias a ésta metodología se logró mejorar el tiempo promedio entre fallas (MTBF), en un lapso de 6 meses superó su propuesta que era de 150 horas trabajadas pero mediante la metodología AMEF ya tenía 147 horas trabajadas para ese año. Agregando a esto un aumento en el tema de costos que para ese año era de US\$ 1.44 dólares por hora trabajada más que el año anterior gracias a la metodología AMEF. El resultado obtenido en ese año fue del 30% de la inversión ingresada un año anterior lo que evidencia considerablemente una reducción del costo por mantenimientos correctivos. La ganancia generada del año 2017 respecto del 2016 fue de US\$ 186.337 dólares por lo cual se puede concluir que existió una mejora en el tema de gestión de mantenimiento para las máquinas Excavadoras y así se tuvo un aumento en los indicadores de disponibilidad y confiabilidad.

A nivel local contamos con Castañeda (2017), en su investigación que lleva como título **“Plan de mantenimiento preventivo basado en la norma ISO 55000 para mejorar la disponibilidad de las máquinas y equipos de la empresa Metalmecánica Maz ingenieros contratistas s.a.c.”**, realizada en la Universidad César Vallejo, su diseño de investigación fue de tipo Pre-experimental, y tiene como objetivo la elaboración y simulación de un plan de mantenimiento preventivo que tiene como finalidad aumentar los indicadores de confiabilidad y disponibilidad de las máquinas y equipos, para de este modo evitar paradas y fallas imprevistas a lo largo del proceso de producción, en su investigación realizó una evaluación previa a los equipos donde llegó a determinar un 57% de confiabilidad, 78% de mantenibilidad y 69% de disponibilidad, demostrando la ausencia de un programa de mantenimiento, su análisis de criticidad determinó 7 equipos más críticos a los que le aplicará el plan, después de elaborar los respectivos formatos de mantenimiento, ingresa los datos a la simulación en PROMODEL dándole como respuesta aumentos aceptables en los indicadores de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad (85-90%). Además, la inversión de su programa de mantenimiento tuvo un costo de S/. 98348.92, y su retorno de inversión fue del

95.22%. El autor concluye que en 3 años se podrá recuperar la inversión de manera total, esto genera una ganancia del 95.22% de la inversión, siendo un aproximado S/. 93647.84.

Ésta tesis se basó en el estudio de diferentes teorías en donde se argumentan nuestras variables que han sido proyectadas además de más datos que fueron necesarios para que ésta investigación sea utilidad. Asimismo empezamos con diferentes concepciones acerca en lo que consiste un *plan de mantenimiento*, se determina como las reglas a seguir para poder realizar con éxito la agrupación de tareas definidas que serán implementadas en las maquinarias, y que tienen la finalidad de aumentar al máximo los indicadores de mantenimiento y a la vez llegar a la vida útil que recomienda el fabricante de maquinarias pesadas, todo esto será posible con las sugerencias estudiadas por las compañías que las fabrican, el registro general, y también tenemos que basarnos en analizar el historial de fallas. La organización idónea de un programa de mantenimiento admite planear capacitaciones, talento para realizar tareas de una manera que sea eficiente y un equipo necesario. Esto indica que un plan de mantenimiento disminuirá de manera considerable el tema de costos por motivos de fallas en las maquinarias, como también aminorar el tiempo de reparación de las maquinarias (Schenkelberg, 2018).

Mantenimiento

Las máquinas o equipos deben estar siempre en un estado óptimo de operación para esto se debe realizar, pruebas, ajustes, reemplazo, inspecciones, calibración y reparación. Todo esto se basa con el desarrollo de conceptos, técnicas y criterios que son necesario para un apropiado mantenimiento, para así poder tomar las decisiones necesarias y elegir un buen programa de mantenimiento. Bravo, (2012)

Mantenimiento preventivo

La acción sistemática de revisar periódicamente, se define como “Controlar, reparar e inspeccionar” antes de que se produzca alguna falla o avería. También se dice que es reparar cuando una máquina o equipo están aún dentro de sus límites que son aceptables. (Rey, 1996).

Programa de mantenimiento preventivo:

Es un plan que incluye prevención constantemente en la maquinaria, que empieza con una serie de formas para tratar de conseguir datos como por ejemplo: recolectar la información que nos emite el operario, los controles de mantenimiento, las ordenes de reparación, los historiales de mantenimientos y reparaciones, recomendaciones del fabricante, etc. Un programa de mantenimiento preventivo está basado al cambio o reparaciones de las piezas o sistemas de las máquinas o equipos. Respecto al mantenimiento preventivo sabemos que es de forma programada a diferencia del correctivo que no lo es, es aquí donde existen diferentes tipos de falla que pueden tener como consecuencia la interrupción de la productividad. (Vázquez, 2013).

Objetivos del mantenimiento preventivo:

Tiene como prioridad mejorar los indicadores del mantenimiento en los que está las maquinarias o equipos, para así poder evitar averías o fallas en cualquier sistema de dichos equipos. De tal manera tiene como finalidad predecir las fallas o averías que puedan presentarse en los sistemas de máquinas, infraestructura o comercios productivos. Tras la ejecución de un oportuno mantenimiento preventivo, se resuelve las interrogantes del porqué falló cierto equipo o maquinaria, así como también se puede encontrar los sistemas más flexibles de dichos equipos o máquinas. (Martinez et al, 2016).

Ventajas de un plan de mantenimiento preventivo:

Tras la ejecución y aprovechamiento al máximo de las ventajas que puede tener un buen plan de mantenimiento preventivo es inevitable valorar los conceptos. Para esto se puede definir como el beneficio de costos bajos a diferencia de los mantenimientos correctivos y predictivos, lo importante que es en el acortamiento de fallas, riesgos y defectos, también reduce los paros que han ocurrido de manera imprevista dentro de la labor realizada, esto nos otorga poder llevar una excelente programación e inspección de mantenimiento cuando son aplicados a las máquinas o equipos. En efecto el mantenimiento preventivo está ligado de una manera muy estrecha a los costos que maneja una compañía, debido a que ésta será la encargada de que una máquina llegue al tiempo esperado de su vida útil, para que

así la mayoría de las máquinas o equipos queden el mayor tiempo posible operativos, además que también tiene la capacidad para evitar accidentes a consecuencia de algún mal funcionamiento o algún fallo que pueda existir de un momento a otro y esto detenga la producción, lo cual serían significativas pérdidas económicas para la compañía. (Ángel y Olaya, 2014).

Análisis de criticidad:

Es un método el cual permite ordenar y entregar jerarquía a los ítems, teniendo como objetivo principal minimizar las decisiones que se toman, concentrándose en el recurso que es más importante y vital para poder mejorar los indicadores de mantenimiento como la calidad operacional y confiabilidad. (Ricaldi, 2013), las decisiones que se tomen en un sistema depende de los niveles de criticidad, estos son:

- a) Equipos Críticos:** Se considera un equipo Crítico cuando al momento de presentar una falla el efecto es de manera severa en la producción de la compañía.
- b) Equipos Semi-Críticos:** Se considera un equipo Semi-crítico cuando al momento de alguna avería repercuten en la producción de la compañía, pero los efectos que éstas generan pueden asumirse.
- c) Equipos No Crítico:** Son considera un equipo No Crítico cuando en éste ocurre alguna falla, pero no influye en la producción de la compañía, a lo mucho representa un pequeño efecto en el proceso, que puede ser asumido u obviado.

Matriz de Criticidad

La matriz se puede apreciar un código que tienen diferentes colores los cuales identifican el registro de mayor o menor magnitud, y van asociados con el nivel de criticidad de algún equipo o máquina previo análisis. Para determinar el nivel de criticidad de un sistema en la matriz se tiene que efectuar la multiplicación de la ocurrencia junto con el aumento de las consecuencias de averías o fallas, o representada de la siguiente manera “. (Romero, 2013).

Fallas y averías:

Son los defectos presentados internamente en un equipo o maquinaria que generan la interrupción del funcionamiento a consecuencia de distintos factores que afectan su operatividad, éstas muchas veces se deben a errores de los operadores, materiales inadecuados, anomalías en las condiciones externas (Quevedo et al, 2017).

Indicadores de mantenimiento.

Un indicador es un valor numérico que brinda datos sobre factores que son considerados críticos o no críticos en la compañía, y después analizarlos ayudan a determinar en qué condiciones se encuentra su sistema de mantenimiento (Navarrete y Hernández, 2001).

Indicadores de gestión de equipos: Se refiere al nivel que tienen de rendimiento las máquinas:

Tiempo Promedio para Reparar o Mean Time To Repair (TPPR-MTTR):

El MTTR muestra el promedio de tiempo que se han demorado las reparaciones por diferentes motivos, por ejemplo: mecánicos.

El MTTR en un intervalo de tiempo se puede calcular al dividir las reparaciones expresadas en las horas totales que fueron usadas para dicha reparación entre el total de paradas que existió en el equipo o máquina por diversas razones mecánicas. No consideramos las paradas que son operativas.

Se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$MTTR = \frac{\text{Horas en Reparación}}{\text{Número de Paradas}} \dots (1)$$

Cuando el valor del MTTR sale muy alto, quiere decir que se invierte demasiadas horas para poder reparar alguna máquina y esto ya es una deficiencia en la empresa.

De lo contrario cuando el valor de MTTR es bajo, nos indica que los trabajos de mantenimiento no se realizan como deberían de hacerse,

Un valor adecuado del indicador del MTTR está entre los rangos de 3 y 6 horas.

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS O MEAN TIME BETWEEN FAILURES (MTBF - TPEF)

Este indicador hace referencia al tiempo promedio donde un equipo o máquina realiza sus labores a su mejor rendimiento sin que pueda presentar alguna falla en cualquier modo que se le asigne de trabajo.

Se calcula de la siguiente manera:

$$MTBF = \frac{\text{Horas Trabajadas}}{\text{Nº de fallas}} \dots (2)$$

El MTBF depende de varios factores en las áreas de la compañía, pues las averías que se hallan presentado han podido ser a consecuencia de malas operaciones, reparaciones mal efectuadas, calidad en los materiales de los repuestos, etc., por eso se realiza un análisis a profundidad para determinar el origen de la falla.

Disponibilidad:

La disponibilidad es el tiempo de trabajo de una máquina que está listo para operar o producir, consideramos tiempos disponibles a todo tiempo menos a los que tenido que ser programa gados para otras tareas, como por ejemplo mantenimientos predictivos o preventivos.

Los valores de la disponibilidad oscilan entre 0 y 1, cada vez que el efecto tenga más cercanía al 1 será considerado un resultado positivo, en relación con esto, si se eleva el MTBF se puede obtener una mejor disponibilidad. (Zambrano, 2015, p.6)

En términos matemáticos la disponibilidad D, se precisa como una correlación a través del tiempo que utiliza el equipo para estar disponible a realizar un trabajo. Es decir:

$$D_t = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots (3)$$

Confiabilidad

Capacidad de un dispositivo para llevar a cabo su función prevista durante un periodo de tiempo proyectado. (Santos y Strefezza, 2015)

La confiabilidad de una maquina o producto se expresa en la siguiente ecuación

$$R_t = e^{-\lambda*t} \dots (4)$$

Dónde:

- R: confiabilidad de una máquina
- e: exponencial (2.71828)
- λ : tasa de fallas;
- $\lambda = \frac{1}{MTBF}$

Costo de mantenimiento: Se refiere cuando la empresa tiene que proteger la inversión de sus activos y esto hace que busque a cada instante mejoras que influyan en el tiempo de vida útil de sus activos, para poder conseguirlo tiene que existir una administración (almacenar y compra de repuestos eléctricos, mecánicos y electrónicos, etc.), estos tipos de administración hacen que disminuya su utilidad y se le llama costos de mantenimiento (Galar et al, 2015).

Costo de mantenimiento por facturación (CMFAC)

$$CMFAC = \frac{CTMN}{FAC} \dots (6)$$

CTMN: Costo general o total de mantenimiento en un intervalo de tiempo, dentro de los cuales se incluyen también los costos de Overhaul.

FAC: en el mismo intervalo de tiempo es el valor que emite la facturación total de la compañía.

Estos costos son la relación que se hacen por gastos de mantenimiento entre lo que factura la empresa en un intervalo de tiempo que normalmente es un año.

Algunas referencias de países son:

- Inglaterra: 5.0%
- Japón 3,4%
- Brasil: 5,1%
- Estados Unidos: 4,3%

Programa de Simulación PROMODEL.

ProModel es un software de simulación que son los más usados dentro del mundo de los procesos. Tiene herramientas de diseño y análisis que, permiten al estudiante, analista o trabajador reconocer más el problema y con esto poder lograr resultados que sean más confiables respecto a las decisiones que se tomarán.

El software Promodel tiene como principal objetivo enfocarse en el desarrollo de fabricación de muchos productos, transformación y líneas de montaje, mantenimiento de diversas máquinas o equipos, etc.

Este software tiene el mérito de tener un sencillo lenguaje computacional de programación y que es sencillo de analizar por parte del usuario. La construcción del modelo es simple y rápida esto se hace mediante el modelado de interfaz gráfica, donde para empezar a usar el software primero tenemos que establecer el funcionamiento particular del sistema esto se hace mediante el montante de elementos que transcurren por el sistema y la operación lógica; el programa logra detectar de manera automática los errores de lógica y enlace con el fin de que se pueda garantizar que nuestro modelo este de una manera completa antes de poder realizar la representación o simulación.

Con este software podemos establecer los caminos de las entidades (maquinarias o equipos) que realizaran la operación, asimismo también se les asigna el tiempo en que van a estar en operación de dicho proceso, lo cual se vuelve mucho más fácil de manejar.

En resumen, para crear un sistema de simulación tendrá que pasar por diferentes comandos que vienen del Menú, estos son: las entidades, locaciones, llegadas y procesamientos. (GARCÍA, E. & GARCIA, H. & y CÁRDENAS, L. 2006)

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad – RCM

Se trata de un procedimiento en donde se describen una serie de tareas para poner en práctica un activo físico, por consiguiente, se debe asegurar que éste activo funcione dentro de un contexto operativo para dar tranquilidad a los clientes, esto involucra un conjunto de análisis en cada sistema y de qué manera se dificulta o interrumpe a que se realice el trabajo, o lo que también se puede llamar los modos de falla. (Moubrey, 2004).

Un mantenimiento que tiene como base la confiabilidad consiste en analizar distintos tipos de fallos, se estudian a los que ya ocurrieron como también a los que pueden volver a ocurrir y alcancen graves consecuencias. A lo largo de este proceso de analizar los modos de fallo, existen siete preguntas importantes. (Garrido, 2009).

1. ¿Qué funciones realiza?
2. ¿De qué manera puede fallar?
3. ¿Qué motivo hace que falle?
4. ¿Qué pasa cuando falló?
5. ¿Qué consecuencias trae si falla?
6. ¿Cómo prevenir la falla?
7. ¿Si no se puede prevenir la falla, que pasa?

SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.

La norma SAE JA1011 nos entrega 5 planificaciones de mantenimiento que deben de aplicarse con la finalidad evitar que se produzca alguna avería o falla. Las cuales son:

Tarea de mantenimiento basadas en condición. - Son labores dedicadas a hallar potenciales fallas. Estos descubrimientos tienen que ser con bastante tiempo de anticipación a fin de que el trabajo correctivo que se le realice pueda ser mucho antes de que ocurra algún paro operacional. Las tareas que son denominadas monitoreo de condición son aplicados a intervalos que están de una manera fija tal cual pueda anticipar algún paro operativo mucho antes de que pueda ocurrir alguna falla funcional

Tarea de reparaciones programadas. - Estas tareas se basan en un determinado tiempo, cuando la vida útil del componente este realizando su función. Lo cual quiere decir que la tasa de falla del sistema o componente se aparte de ser constante. En principio, cuando está por llegar al final de la vida útil, el componente o sistema su tasa de falla se elevada hasta un nivel que ya no es tolerable. Aparte de su vida útil, los gastos por reparaciones preventivas necesitan de ser estudiados. Es decir, se tiene que comparar los gastos de reparación frente a lo que puede

ocurrir por alguna falla funcional y estos gastos tienen que ser factibles económicamente con la tarea a realizar.

Tarea de reemplazo programado. - También son denominadas como tareas programadas de reemplazo y descarte, estas son consideradas cuando después de analizar alguna falla es más beneficioso cambiar la pieza en lugar de restaurar o reparar. Se propone que ésta aplicación debe darse cuando el activo llegue al final de su vida útil.

Tareas de búsqueda de fallas. - Estudia las tareas de una manera perseverante, hasta el punto que determina si es que llegan a presentarse fallas, en cambio las tareas que han sido basadas en condición comprueban si algo estaría por fallar.

Tareas de Rediseño: Cuando no se encuentran tareas de búsquedas de fallas ni tareas que han sido basadas en condición. Se determina por realizar cambios en el diseño o configuración física del activo y así poder dar solución al problema ocurrido.

El Mantenimiento Overhaul, consiste en la sustitución de las piezas de la máquina que están desgastadas por otras nuevas, hasta que todas las piezas afectadas sean cambiadas, y la máquina vuelva a estar como estaba en el momento cero antes de estrenarse por eso mismo este tipo de mantenimiento recibe el nombre de *cero horas*. A través de este mantenimiento se trata de llegar a la vida útil del activo o máquina a largo plazo y de forma controlada, para el recambio de piezas no debe hacerse todo de una sola vez, sino que se hace de manera gradual.

METODOLOGÍA AMEF

Es una metodología que nos concede reconocer fallas en activos, sistemas y procesos, como también clasificar y evaluar de un modo objetivo sus causas, efectos y elementos que son identificables, y con esto eludir las ocurrencias para poseer un procedimiento documentado de precaución. (John Moubray, 2004).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación fue **aplicada**, debido a que empleamos conocimientos ya adquiridos, diferentes métodos, técnicas y teorías que se antepusieron a éste estudio.

El diseño de investigación fue pre **experimental** debido a que el objetivo principal involucró el cambio de una de sus variables en el tiempo y obtuvo como resultado una proyección. (Campbell y Stanley, 1966); Lo que refiere la existencia de un antes y un después de la planificación de aplicación.

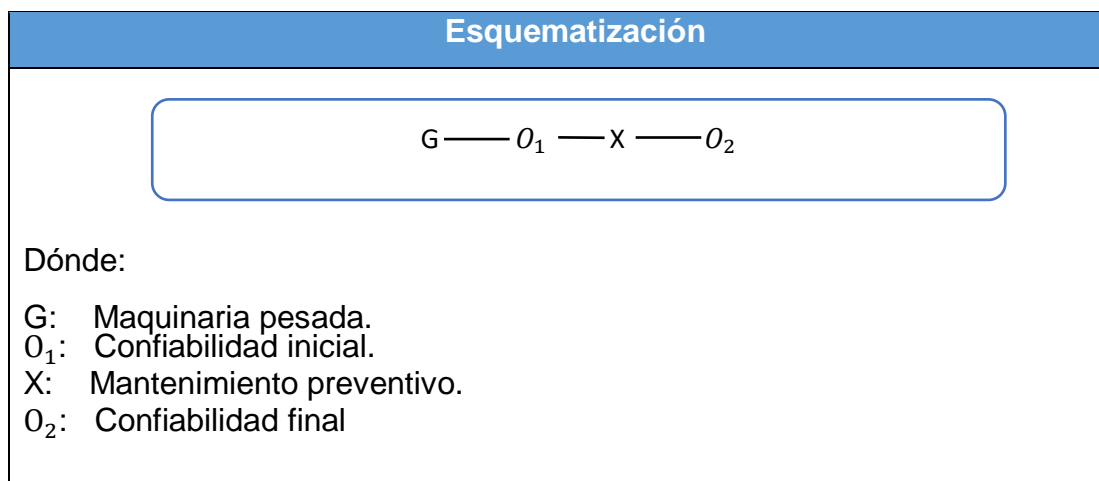


Figura 01: Diseño de investigación. Fuente: elaboración propia.

3.2. Variables y Operacionalización

Variable Independiente: Plan de Mantenimiento Preventivo basado en el RCM.

“El mantenimiento preventivo se llega a realizar con un inventario total de tareas”, las que han sido realizadas por personas que son las interesadas (Jefes u operarios) del área de mantenimiento, para así poder asegurar que sus máquinas funcionen en un insuperable estado. De tal modo se obtiene una confiabilidad óptima o necesaria para que las máquinas trabajen de una manera efectiva dentro de un entorno de seguridad. (Alavedra, 2019)

Variable Dependiente: Confiabilidad.

Según (Santos y Strefezza, 2015), Es la capacidad de un dispositivo para llevar a cabo su función prevista durante un periodo de tiempo proyectado.

VARIABLE	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIONES
Plan de mantenimiento preventivo Basado en el RCM	INDEPENDIENTE	Observa las acciones que han sido empleadas para mantener la vida útil del activo sin perder la relación de un costo – beneficio, asimismo que se pueda garantizar las condiciones de seguridad de la máquina o equipo (Martinez et al, 2016)	Esta variable independiente para que sea medible tiene que ser a través de una investigación de datos los cuales son los gastos o costos del mantenimiento, los costos por mantenimientos correctivo y preventivo como el mismo programa de mantenimiento se determinan en función de que cumplan las actividades asignadas y esto vendría hacer la eficacia.	RCM	Razón
Confiabilidad	DEPENDIENTE	Capacidad de un dispositivo para llevar a cabo su función prevista durante un periodo de tiempo proyectado. (Santos y Strefezza 2015),	Esta variable dependiente para que sea medible tiene que hacerse el uso del diagnóstico, e indicadores de mantenimiento a través de los cuales podremos medir la confiabilidad del equipo o maquinarias.	Disponibilidad Operacional.	Razón

Tabla 01. Variables y Operacionalización

3.3. Población, muestra y muestro

La **población** de ésta tesis se conformó por los 40 vehículos en general de la empresa JJC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

Criterios de inclusión: Se considera a las maquinarias pesadas de línea amarilla de la empresa JJC Ingenieros Contratistas E.I.R.L., debido a que éstas son las que generan más recursos económicos a la empresa.

Criterios de exclusión: Otras maquinarias Livianas de la empresa JJC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

La **muestra** es **no probabilística intencionada por los autores**, los cuales escogieron 7 maquinarias pesadas correspondientes a línea amarilla en la Empresa JJC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

Nuestra unidad de análisis serán las 7 maquinarias de la empresa JJC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

3.4. Técnicas e instrumento de recolección de datos

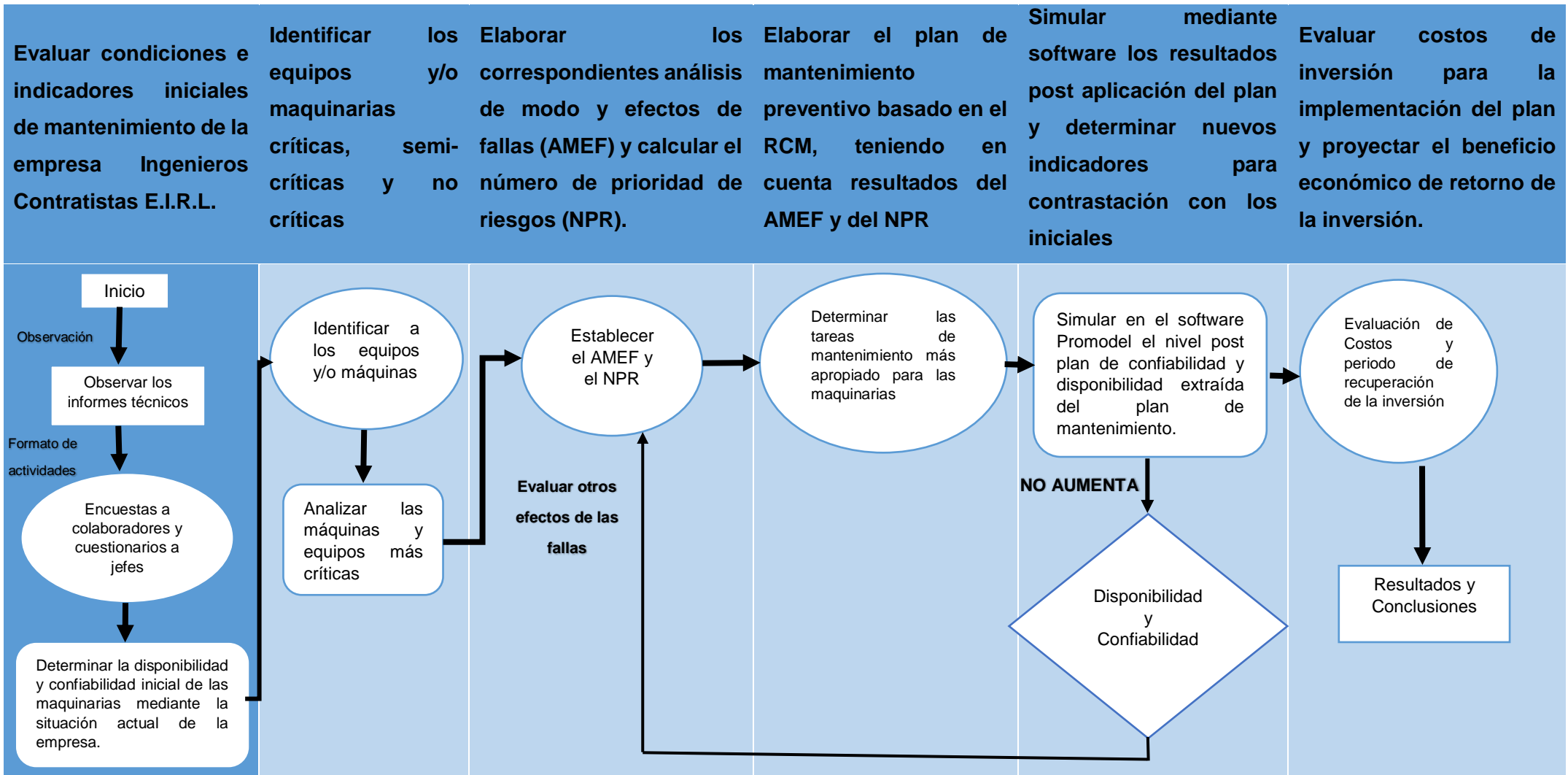
TÉCNICAS	INSTRUMENTO	VALIDEZ
Observación	Ficha de observación	Por asesor especialista
Entrevista	Ficha de Entrevista	Por asesor especialista
Análisis Documental	Ficha de Registro de datos	Por asesor especialista
Resultados operacionales	Cálculos de formulaciones.	Por asesor especialista

Tabla 02. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos.* Fuente: Elaboración Propia

3.5. Procedimientos

En éste trabajo se tomó en cuenta la relación de los objetivos específicos, para esto se usó un esquema de sucesos en donde se respetó el rango para cada actividad que se realizó.

Tabla 3. Procedimientos



IV. RESULTADOS

La realización del plan de mantenimiento preventivo se tuvo que iniciar con la evaluación de las condiciones iniciales del sistema de mantenimiento y determinar los indicadores actuales con los cuales contaba la empresa, se observó que la empresa solo realizaba mantenimientos puramente correctivos porque hacían la reparación después de que la máquina presentará la falla, por lo cual los indicadores de mantenimiento como disponibilidad y confiabilidad estuvieron en un nivel muy inferior comparado a los estándares normales, así mismo el área que estaba a cargo del mantenimiento no realizaban la correcta metodología para poder gestionar la compra necesaria de insumos como los repuestos, otro problema encontrado fue el de operadores y los que estaban a cargo del mantenimiento en las maquinarias los cuáles usan una serie de procedimientos que no son aceptables para solucionar los problemas que se suscitan, esto trajo como consecuencias que se use demasiado tiempo en reparaciones de máquinas que se encontraban trabajando en obra. Para finalizar la empresa no cuenta con un reporte bien detallado y consolidado de que actividades generaron fallas en cierta maquinaria.

4.1. Resultado del objetivo específico 1: Evaluar condiciones e indicadores iniciales de mantenimiento de la empresa Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

Para poder evaluar las condiciones iniciales del sistema de mantenimiento de la empresa se realizó con algunos instrumentos, tales como; la observación y el análisis documental, éstos sirvieron para determinar el estado inicial de cada maquinaria, los datos mostrados fueron tomados de un período de 5 meses, esto fue debido a que ese es el tiempo promedio de cada obra ejecutada por la empresa, que comprende el tiempo desde enero hasta mayo del 2021.

4.1.1. Resumen de los informes técnicos del 2021 de las maquinarias.

Se consiguió unos informes técnicos de las 7 maquinarias que son razón de estudio, esto con el fin de recopilar los antecedentes y/o datos más precisos, asimismo recopilar toda la información en cuanto a sus fallas y su periodo de tiempo además de los gastos que contuvo cierta reparación. Estos informes técnicos que se encontraron de cada maquinaria, señalan la cantidad de fallas que ocurrieron en

el Periodo de Enero - mayo del 2021, el formato para el historial de fallas se puede visualizar en el **anexo 1**.

Según los datos y la información recopilada de los últimos 5 meses que la empresa ejecutó una obra, la cual fue desde enero y terminó en mayo del 2021, se tuvo que efectuar un resumen del número de fallas en cada mes que trabajó la maquinaria, esto lo podemos observar en la Tabla 04.

Maquinaria de línea amarilla de empresa ingeniero Contratistas JCC	N° de Fallas - Enero	N° de Fallas – Febrero	N° de Fallas – Marzo	N° de Fallas – Abril	N° de Fallas - Mayo	N° Total de fallas.
Cargador Frontal 950H – Cat 2012	5	5	9	6	6	31
Retroexcavadora 420F – Cat 2010	6	8	7	7	6	34
Retroexcavadora 420F2 – Cat 2019		4	3		4	11
Retroexcavadora 420F2 – Cat 2020		2	1	3	2	8
Mini Cargador 242B – Cat 2008	5	5	6	7	6	29
Mini Cargador 242B – Cat 2008	4	6	4	6	7	27
Mini Cargador 246B3 – Cat 2020	1		1	2		4
TOTAL						143

Tabla 04: Resumen de los informes técnicos de enero a mayo del 2021 Fuente: Empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

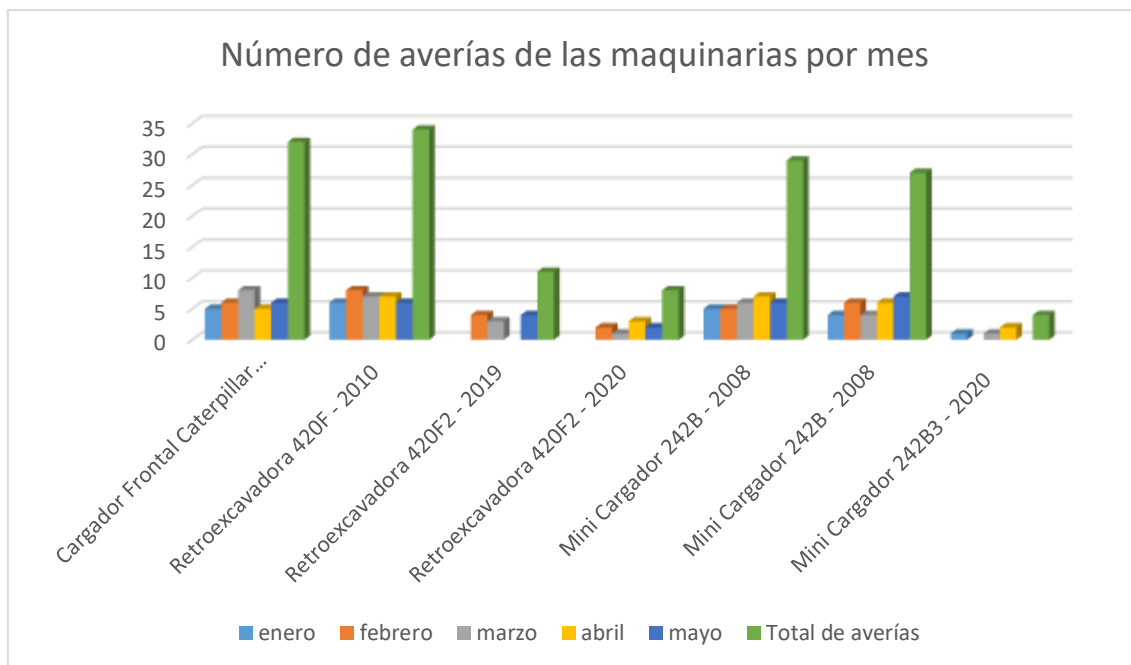


Figura 02. Número de averías de maquinarias de enero a mayo 2021

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En el gráfico podemos observar el número de averías que tuvo la maquinaria en cada mes, desde enero hasta mayo del 2021, se resumen de la siguiente manera, el Cargador Frontal Caterpillar 950H (2010), experimento 31 paradas, para la Retroexcavadora 420F-2010 contó con un total de 34 paradas por motivo de falla, la Retroexcavadora 420F2-2019 solo llegó a tener un total de 11 paradas, la Retroexcavadora 420F2-2020 obtuvo un total de paradas de 8 veces, el Mini cargador 242B-2008 experimentó un total de 29 paradas, el Mini cargador 242B-2008 registró un total de 27 paradas, y por último el Mini cargador 242B3-2020, solo llegó a tener un total de 4 paradas totales en el lapso de dichos meses, el detalle de cada falla se puede observar en el **anexo 2**.

4.1.2. Resumen del Historial de fallas de la maquinaria de enero a mayo 2021.

Después de encontrar los informes técnicos de las maquinarias, se pudo conocer algunos indicadores iniciales de cómo se encontraba cada maquinaria, así como también pudimos obtener las horas de reparación y el número de fallas, datos importantes para poder obtener nuestro indicador de tiempo promedio para reparar

entre fallas (MTTR) así como también la fórmula del tiempo promedio para reparar fallas (MTBF), con la obtención de estos datos determinamos la disponibilidad y confiabilidad inicial de cada maquinaria, la cantidad de fallas y las horas que se demoró para esa reparación, el formato para historial de fallas y las horas de reparación que involucró cada falla, se encuentra en el **anexo 3**.

Maquinaria	Tiempo Total	N° de Fallas	Horas entre fallas	Horas de Reparación	MTBF (Horas)	MTTR (Horas)	$\lambda = \frac{1}{MTBF}$	Disponibilidad (%)	Confiabilidad (%)
Cargador Frontal 950H – Cat 2012	900	31	655	245	21.12	7.9	0.0473	72.77	65.33%
Retroexcavadora 420F – Cat 2010	900	34	647	253	19.02	7.44	0.0525	71.88	62.34%
Retroexcavadora 420F2 – Cat 2019	900	11	802	98	72.90	8.9	0.0137	89.11	88.4%
Retroexcavadora 420F2 – Cat 2020	900	8	818	82	102.25	10.25	0.0097	90.88	91.6%
Mini Cargador 242B – Cat 2008	900	29	667	233	23	8.03	0.0434	74.12	67.6%
Mini Cargador 242B – Cat 2008	900	27	678	222	25.11	8.22	0.0398	75.33	69.8%
Mini Cargador 246B3 – Cat 2020	900	4	848	52	212	13	0.0047	94.2	95.8%

Tabla 05. Resumen del historial de fallas y determinación de indicadores. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 05 se puede visualizar los indicadores de MTTR y de MTBF, datos indispensables para obtener disponibilidad y confiabilidad de las maquinarias, éstas fueron: Cargador Frontal Caterpillar 950H (2010), obtiene una disponibilidad de 72.77% y una confiabilidad del 65.33%, para la Retroexcavadora 420F-2010 contó con una disponibilidad del 71.88% y una confiabilidad del 62.34% , la Retroexcavadora 420F2-2019 llegó a tener una disponibilidad del 89.11% y una confiabilidad del 88.4%, la Retroexcavadora 420F2-2020 obtuvo una disponibilidad del 91.6% y una confiabilidad del 91.6%, el Minicargador 242B-2008 experimentó una disponibilidad del 74.12% y una confiabilidad del 67.6%, el Minicargador 242B-2008 registró una disponibilidad del 75.33% y una confiabilidad del 69.8%, y por último el Mini cargador 242B3-2020, llegó a tener una disponibilidad del 94.2% y

una confiabilidad de 95.8%, las fallas detalladas de cada maquinaria así como las horas de reparación que tuvo cada falla se puede visualizar en el **anexo 4**,

4.2. Resultado del objetivo específico 2: Identificar los equipos y/o maquinarias críticas, semi-críticas y no críticas.

Para poder determinar un estado inicial de maquinarias críticas, semi-críticas y no críticas, utilizamos una encuesta que se puede visualizar en el **anexo n°5** y unos criterios para la calificación de criticidad (ver **anexo 6**), en donde se analizaron los parámetros para identificar en que rango de criticidad se encuentran cada maquinaria.

4.2.1. Diagnóstico del estado inicial de criticidad de las maquinarias.

Luego de obtener los datos iniciales de las maquinarias a través de informes técnicos y teniendo conocimiento de todos los desperfectos que ocurrieron en ese lapso de tiempo, siguiendo la metodología, criterios y los pasos de análisis de criticidad (**anexo 6**), se llegó a obtener el nivel de criticidad de las maquinarias en los meses de enero a mayo del 2021, en la tabla 06 se ha resumido el nivel de criticidad de cada maquinaria. En la investigación realizada se detectó que de las 7 maquinarias pesadas de línea amarilla planteadas, 3 estaban en un nivel crítico, esto a consecuencia de que han tenido fallas elevadas, las máquinas con nivel de criticidad alto son, el Cargador Frontal Caterpillar 950H (2010), la Retroexcavadora 420F-2010, y el Minicargador 242B-2008.

MAQUINARIAS	F	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL	CRITICIDAD
Cargador Frontal 950H – Cat 2012	4	8	4	2	2	36	144	CA
Retroexcavadora 420F – Cat 2010	4	7	1	2	2	32	128	CA
Retroexcavadora 420F2 – Cat 2019	2	2	1	1	1	6	12	CB
Retroexcavadora 420F2 – Cat 2020	2	2	1	1	1	6	12	CB
Mini Cargador 242B – Cat 2008	3	8	2	1	1	26	78	CA

Mini Cargador 242B – Cat 2008	3	7	1	1	1	23	69	CM
Mini Cargador 246B3 – Cat 2020	1	2	1	1	2	5	10	CB

Tabla 06: Análisis de Criticidad de las 7 maquinarias. Fuente: Elaboración Propia

MAQUINARIAS	F	IO	FO	CM	SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL	JERARQUIZACIÓN
Cargador Frontal 950H – Cat 2012	4	8	4	2	2	36	144	CA
Retroexcavadora 420F – Cat 2010	4	7	1	2	2	32	128	CA
Mini Cargador 242B – Cat 2008	3	8	2	1	1	26	78	CA

Tabla 07: Leyenda y matriz de Análisis de Criticidad detallado de las maquinarias.

Fuente: Elaboración Propia

CÁLCULO DE CRITICIDAD	
CRITICIDAD TOTAL = <i>Consecuencia X Frecuencia de falla</i>	CONSECUENCIA = <i>(Flexibilidad Operacional x Impacto Operacional) + Costo de mantenimiento + Impacto SAH</i>
LEYENDA	
RANGO	NIVEL DE CRITICIDAD
$2 \geq \text{CRITICIDAD} \leq 39$	Criticidad Baja CB
$40 \geq \text{CRITICIDAD} \leq 69$	Criticidad Media CM
$70 \geq \text{CRITICIDAD} \leq 200$	Criticidad Alta CA

Tabla 08: Cálculo de Análisis de Criticidad. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 06 se puede visualizar la jerarquía de criticidad de todas las maquinarias pesadas de línea amarilla previa aplicación del programa de mantenimiento, estas son: Cargador Frontal Caterpillar 950H (2010), obtiene un nivel de criticidad Alto, la Retroexcavadora 420F-2010 contó con un nivel de criticidad Alto, la Retroexcavadora 420F2-2019 llego a tener un nivel de criticidad Bajo, de igual manera la Retroexcavadora 420F2-2020 obtuvo un nivel de criticidad Bajo, el

Minicargador 242B-2008 experimentó un nivel de criticidad Alto, se contó con un nivel de criticidad medio al Minicargador 242B-2008 y por último el Mini cargador 242B3-2020, llegó a tener un nivel de Criticidad Bajo.

4.3. Resultado del objetivo específico 3: Elaborar los correspondientes análisis de modo y efectos de fallas (AMEF) y calcular el NPR (Número de Prioridad de Riesgos).

Para desarrollar este objetivo se tuvo como prioridad las maquinarias más críticas del sistema debido a que en éstas se concentrará nuestro programa de mantenimiento preventivo y sirva como base para las demás, primero se clasificó las fallas por subsistemas de cada maquinaria, esto con el fin de poder ver todas las fallas funcionales que pueda tener, así como sus modos en que pueden fallar y los efectos que éstas generarían.

El detalle de nuestro AMEF para el Cargador Frontal Cat 950h – 2012, se puede observar en el **anexo 7**.

4.3.1. Clasificación de fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla según subsistemas del Cargador Frontal – Cat 950h - 2012.

Maquinaria	Sub Sistemas	Número de fallas funcionales	Modos de falla	Efectos de falla
Cargador Frontal Cat 950h - 2012	Estructural	2	2	2
	Motor	7	14	9
	Hidráulico	2	9	4
	Eléctrico	6	18	6
	Enfriamiento	3	9	5
	Transmisión	2	5	3
	Frenos	1	2	2
	Total	23	59	31

Tabla 09: Resumen del AMEF para el Cargador Frontal – Cat 950h 2012. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 09 podemos observar el análisis de modo de efectos y fallas (AMEF) del cargador frontal Cat 950 h – 2012, la cual cuenta con total de 23 fallas funcionales, de las cuales el subsistema “motor” es el que tiene el número más alto de fallas (7), siguiéndole el subsistema eléctrico que cuenta con 6 fallas funcionales, asimismo el subsistema de enfriamiento concurre con 3 fallas funcionales y los subsistemas Hidráulico, Estructural y de Transmisión cuentan con 2 fallas funcionales, y por último el sistema de frenos cuenta solo con 1 falla funcional.

Para la determinación del Número Prioritario de Riesgo (NPR), se establecieron unos rangos de Gravedad, Ocurrencia y Detección (**anexo 8**), para así poder determinar la falla más grave según los criterios dados y con ellas elaborar un mejor plan de mantenimiento.

4.3.1.1. Número Prioritario de Riesgo de Cargador Frontal Cat – 950h – 2012

Maquinaria	Sub Sistemas	Número de fallas	NPR ≤ 125	125 < NPR ≤ 200	NPR > 200
Cargador Frontal Cat 950h - 2012	Estructural	2		1	1
	Motor	7		1	6
	Hidráulico	2			2
	Eléctrico	6	3		3
	Enfriamiento	3			3
	Transmisión	2		1	1
	Frenos	1	1		
	Total	23	4	3	16
	%	100 %	17.39 %	13.04 %	69.57 %

Tabla 10: Resumen de NPR para el Cargador Frontal – Cat 950h 2012. Fuente: Elaboración Propia

➤ Factor de corrección de NPR (%)

$$\frac{\text{fallas aceptables} + \text{fallas reducibles deseables}}{100} \dots (7)$$

- Factor de corrección para el Cargador Frontal Cat 950h – 2012

$$\text{Factor de Corrección de NPR} = \frac{17.39 + 13.04}{100} = 0.3043$$

Interpretación:

En la tabla 10 podemos visualizar un resumen del NPR para Cargador Frontal Cat 950 h – 2012, esto se puede visualizar en el **anexo 9**, se consideró que un NPR menor a 125 son *Fallas aceptables*, un NPR que se encuentre entre los 125 y 200 son *Fallas reducibles deseables*, y un NPR mayor a 200 son *Fallas inaceptables*, entonces según análisis se logró determinar que en el subsistema estructural tiene 1 falla que tiene un NPR mayor a 200, el subsistema motor de las 7 fallas totales que cuenta, 6 tienen un NPR>200, en el subsistema hidráulico de todas sus fallas (2) tienen un NPR>200, en el subsistema de enfriamiento se determinó que todas las fallas que tienen (3) contienen un NPR>200, asimismo el subsistema de transmisión contiene 1 falla inaceptable, y finalizando con el subsistema de frenos solo cuenta con una falla que tiene un NPR ≤ 125. Del mismo modo se halló el factor de corrección del NPR, para que con ese valor se pueda determinar el nuevo MTTR post simulación.

4.3.2. Clasificación de fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla según subsistemas de la Retroexcavadora 420f-Cat 2010.

Maquinaria	Sub Sistemas	Número de fallas funcionales	Modos de falla	Efectos de falla
Retroexcavadora 420f-Cat 2010	Motor	5	14	11
	Hidráulico	8	21	13
	Eléctrico	8	17	8
	Estructural	2	5	5
	Transmisión	6	19	12
	Enfriamiento	2	6	6
	Total	31	82	55

Tabla 11: Resumen del AMEF para la Retroexcavadora 420f-Cat 2010. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 11 podemos observar el AMEF de la Retroexcavadora Cat 420f - 2010, la cual cuenta con total de 31 fallas funcionales, de las cuales el subsistema “Hidráulico” junto con el subsistema “Eléctrico” es el que tiene el número más alto de fallas funcionales (8), siguiéndole el subsistema de Transmisión que cuenta con 6 fallas funcionales, el subsistema motor contiene 5 fallas funcionales, y por último los subsistemas de Enfriamiento y Estructural cuentan con 2 fallas funcionales, el detalle del análisis del Amef para la Retroexcavadora se puede observar en el **anexo 10**.

4.3.2.1. Número Prioritario de Riesgo de Retroexcavadora Cat 420f – 2010

Maquinaria	Sub Sistemas	Número de fallas	$NPR \leq 125$	$125 < NPR \leq 200$	$NPR > 200$
Retroexcavadora Cat 420f - 2010	Motor	5	1		4
	Hidráulico	8		1	7
	Eléctrico	8	2	2	4
	Estructural	2	1		1
	Transmisión	6	1	1	4
	Enfriamiento	2			2
	Total	31	5	4	22
		100 %	16.13 %	12.90 %	70.97 %

Tabla 12: Resumen del NPR para la Retroexcavadora Cat 420f – 2010. Fuente: Elaboración Propia

- Factor de corrección para la Retroexcavadora Cat 420f - 2010, según ecuación n° 7

$$Factor\ de\ Corrección\ de\ NPR = \frac{16.13 + 12.90}{100} = 0.2903$$

Interpretación:

En la tabla 12 se visualiza un resumen del análisis del número prioritario de riesgos para la Retroexcavadora (**anexo 11**), entonces según el análisis se logró determinar que en el subsistema motor del total de 5 fallas, 4 cuentan con un NPR mayor a

200, en el subsistema hidráulico de las 8 fallas totales que cuenta, 7 contienen un NPR>200, del mismo modo el subsistema eléctrico cuenta con 4 *Fallas inaceptables*, en el subsistema estructural se considera 1 falla inaceptable debido a que tiene un NPR mayor a 200, el subsistema de transmisión 4 fallas tienen un NPR mayor a 200, en el subsistema de enfriamiento todas sus fallas (2) también cuentan con un NPR mayor a 200. Del mismo modo se halló el factor de corrección del NPR, para que con ese valor se pueda determinar el nuevo MTTR post simulación.

4.3.3. Clasificación de fallas funcionales, modos de falla y efectos de falla según subsistemas del Minicargador Cat 242B – 2008

Maquinaria	Sub Sistemas	Número de fallas funcionales	Modos de falla	Efectos de falla
Minicargador Cat 242B - 2008	Estructural	2	2	2
	Motor	3	2	2
	Hidráulico	6	13	8
	Eléctrico	6	8	6
	Enfriamiento	3	9	5
	Transmisión	1	1	1
	Mecánico	1	1	1
	Total	22	36	25

Tabla 13: Resumen del AMEF para el Minicargador Cat 242B – 2008. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 13 se visualiza el análisis de modo de efectos y fallas (AMEF) del Minicargador Cat 242B-2008, el cual cuenta con total de 22 fallas funcionales, de las cuales el subsistema “Hidráulico” junto con el subsistema “Eléctrico” es el que tiene el número más alto de fallas funcionales (6), siguiéndole el subsistema motor y de enfriamiento que ambos cuentan con 3 fallas funcionales dentro de su sistema, el subsistema estructural contiene 2 fallas funcionales, asimismo en los subsistemas de transmisión y mecánico ambos cuentan solo con 1 falla funcional, los detalles del amef para el minicargador se pueden verificar en el **anexo 12**.

4.3.3.1. Número Prioritario de Riesgos (NPR) de Minicargador Cat 242B – 2008

Maquinaria	Sub Sistemas	Número de fallas	NPR ≤ 125	125 < NPR ≤ 200	NPR > 200
Minicargador Cat 242B - 2008	Estructural	2			2
	Motor	3	2	1	
	Hidráulico	6			6
	Eléctrico	6	3	1	2
	Enfriamiento	3			3
	Transmisión	1		1	
	Mecánico	1	1		
	Total	22	6	3	13
		100 %	27.27 %	13.63 %	59.1 %

Tabla 14: Resumen de NPR para el Minicargador Cat 242B – 2008 Fuente: Elaboración Propia

- Factor de corrección para el Minicargador Cat 242B - 2008, según ecuación n° 7

$$\text{Factor de Corrección de NPR} = \frac{27.27 + 13.63}{100} = 0.409$$

Interpretación:

Según la tabla 14 se visualiza el Número Prioritario de Riesgo del Minicargador Cat 242B-2008, entonces según el análisis se logró determinar que en el subsistema estructural todas su fallas (2) llegaron a considerarse *fallas inaceptable*, por tener un NPR mayor a 200, en el subsistema motor no cuenta con fallas donde el NPR sea mayor a 200, del mismo modo en el subsistema hidráulico todas sus fallas (6) tienen un NPR > 200, asimismo el subsistema eléctrico cuenta con 2 fallas consideradas inaceptables, en el subsistema de enfriamiento de sus 3 fallas que se presentaron, todas contienen un NPR > 200, en el subsistema de Transmisión cuenta con 1 falla que se considera *falla reducible deseable* y por último en el subsistema mecánico no presenta *fallas inaceptables*, estos datos se pueden verificar en el **anexo 13**. Del mismo modo se halló el factor de corrección del NPR, para que con ese valor se pueda determinar el nuevo MTTR post simulación.

4.4. Resultado del objetivo específico 4: Elaborar el plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM, teniendo en cuenta resultados del AMEF y del NPR.

Nuestro plan de mantenimiento preventivo que se basó en la confiabilidad para así poder aumentar la disponibilidad fue tomado de acuerdo a los resultados que nos arrojó el AMEF y NPR, asimismo se tomó en cuenta a los mecánicos y operadores mediante entrevistas, para la presentación del plan de mantenimiento se tuvo en cuenta los informes técnicos, análisis documental, todo el historial de fallas en un lapso de tiempo, para determinar confiabilidad y disponibilidad inicial, éstos aportes fueron de gran ayuda para guiarnos y así poder entregar un programa de mantenimiento preventivo ideal de acuerdo a las maquinarias que cuenta la empresa, para que con esto pueda la empresa pueda reducir sus costos por mantenimientos no previstos y así tener una máquina que sea confiable y esté disponible las veces que sea necesario. El formato del programa de mantenimiento se puede ver de manera detallada en el **anexo 14**.

4.4.1. Diseño del plan de mantenimiento preventivo para el Cargador Frontal Cat 950h – 2012.

En la tabla 15 se observa un resumen acerca del formato del programa de mantenimiento preventivo que se aplicó al Cargador Frontal Cat 950h – 2012, el cual está dividido por subsistemas que tiene la maquinaria, la descripción de las tareas que se van a realizar, el tipo de tarea a realizar después de analizar el árbol lógico de decisiones (ver **anexo 15**), los números de mantenimientos preventivos (MP), asimismo el tiempo que debe durar cada tarea, los costos de mantenimiento (Repuestos), el personal que se involucrará de acuerdo al tipo de tarea, asimismo los costos que han involucrado la mano de obra junto con el costo total, asimismo en el **anexo 16** se encuentra e manera detallada el formato de nuestro programa de mantenimiento preventivo.

Sistemas	N° de M.P.	Duración de M.P (horas)	Costo del M.P. (USD \$.)
Motor	24	18.4 h	2372.9
Hidráulico	5	2.5	248.3

Transmisión	5	3.5	281.1
Eléctrico	5	0.6	52.23
Estructural	6	0.4	29.4
Frenos	3	0.4	1.3
Total	48	26 horas.	2985.2

Tabla 15. Resumen del programa de mantenimiento preventivo del Cargador Frontal 950H. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 15. Se visualiza un resumen de cómo está distribuido nuestro programa de plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria constituida por el Cargador Frontal Cat 950h – 2012, el cual se constituyó por 6 sistemas, en donde el sistema motor es el que tiene más números de mantenimientos preventivos (24 M.P), la duración es de 18.4 horas de mantenimiento y tiene un costo de USD \$. 2378.90, el sistema hidráulico con 5 M.P., su duración de mantenimiento es de 2.5 horas y tiene con un costo de USD \$ 248.3, asimismo le sigue el sistema de transmisión con 5 M.P, y un total de 3.5 horas de mantenimiento lo cual trae un costo de USD \$ 281.1, el sistema eléctrico tiene 5 M.P y 0.6 horas de mantenimiento con un costo de USD \$ 52.23, el sistema estructural tiene 6 M.P, con una duración de 0.4 horas de mantenimiento y un costo de USD \$ 29.4, y por último el sistema de frenos con 3 M.P y tiene 0.4 horas de duración en mantenimiento con un costo de USD \$ 1.3, todos estos estos números de mantenimientos preventivos del cargador frontal llegan hacer un total de 48 M.P., con una duración de 26 horas y un costo total de USD \$ 2985.2. Esto se puede visualizar en el **anexo 16**.

4.4.2. Diseño del programa de mantenimiento preventivo para la Retroexcavadora Cat 420f-2010

Sistemas	Nº de M.P.	Duración de M.P (Horas)	Costo del M.P.
Motor	27	14.3	1725.4
Transmisión	3	3.4	225.7
Hidráulico	4	2.2	221.9
Otros Sistemas	10	1.3	34.2
Total	44	21.2	2207.2

Tabla 16. Resumen del programa de mantenimiento preventivo para la Retroexcavadora Cat 420f-2010. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 16. Se visualiza un resumen de cómo está distribuido nuestro programa de mantenimiento preventivo para la Retroexcavadora Cat 420f - 2010, la cual se constituyó por 4 sistemas, en donde el sistema motor es el que tiene más números de mantenimientos preventivos (27 M.P), la duración es de 14.3 horas de mantenimiento y tiene un costo de USD \$ 1725.4, el sistema de transmisión tiene 3 M.P., la duración del mantenimiento es de 3.4 horas y cuenta con un costo de USD \$ 225.7, asimismo le sigue el sistema de Hidráulico con 4 M.P, y un total de 2.2 horas de mantenimiento lo cual trae un costo de USD \$221.9, y en otros sistemas llega a tener 10 números de mantenimiento preventivo, lo cual genera 1.3 horas de mantenimiento con un costo de USD \$ 34.2, todos estos estos números de mantenimientos preventivos de la Retroexcavadora Cat 420f - 2010 llegan hacer un total de 44 M.P., con una duración de 21.2 horas de mantenimientos preventivos y un costo total de USD \$ 2207.2. Esto se puede visualizar en el **anexo 17**.

4.4.3. Diseño del programa de mantenimiento preventivo para el Minicargador Cat 242B – 2008

Sistemas	Nº de M.P.	Duración de M.P (Horas)	Costo del M.P.
Motor	19	11.6	1526.4
Hidráulico	2	0.1	0.4
Traslación	8	3.5	10.9
Eléctrico	6	1.23	83.9
Estructural	3	0.25	0.86
Otros Sistemas	1	0.83	0.26
Total	39	17.51	1622.7

Tabla 17. Resumen del programa de mantenimiento preventivo para el Minicargador Cat 242B – 2008. Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 17. Se visualiza el resumen de cómo está distribuido el programa de mantenimiento preventivo para el Minicargador Cat 242B – 2008, el cual se constituyó por 6 sistemas, en donde el sistema motor es el que tiene más números de mantenimientos preventivos (19 M.P), la duración es de 11.6 horas de mantenimiento y tiene un costo de USD \$ 1526.4, el sistema hidráulico cuenta con 2 M.P., y la duración de mantenimiento es de 0.1 horas y cuenta con un costo de USD \$ 0.4, asimismo le sigue el sistema de traslación con 8 M.P, y un total de 3.5 horas de mantenimiento lo cual trae un costo de USD \$. 10.9, el sistema eléctrico tiene 6 M.P y 1.23 horas de mantenimiento con un costo de USD \$ 83.9, el sistema estructural tiene 3 M.P, con una duración de 0.25 horas y un costo de USD \$ 0.86, y en otros sistema existe solo 1 M.P y tiene 0.83 horas de duración en mantenimiento con un costo de USD \$ 0.26, todos estos números de mantenimientos preventivos del Minicargador Cat 242B – 2008, llegan hacer un total de 39 M.P., con una duración de 17.51 horas y un costo total de USD \$ 1622.7 Esto se puede visualizar en el **anexo 18**.

5. Resultado del objetivo específico 5: Simular mediante software Promodel los resultados post aplicación del plan y determinar nuevos indicadores para contrastación con los iniciales.

El objetivo de la presente simulación es modelar los tiempos entre fallas y reparaciones de maquinaria pesada con la situación actual de no contar con mantenimiento preventivo; y compararla con la propuesta de implementar un programa de mantenimiento preventivo.

5.3.1. Metodología de la Simulación

5.3.1.1. Entidades.

Se definió 1 entidad artificial que representa cada hora de requerimientos de maquinaria pesada, asimismo esta entidad nos ayudara a registrar las horas de cada turno, para poder hacerlo flexible.

Conc	Nombre	Velocidad (mpm)	Estadist	Notas...
	E_art	50	Series de tiempo	

Figura 03. Creación de entidades

5.3.1.2. Locaciones

Debido a que queremos representar gráficamente la maquinaria pesada y si está disponible o no, debemos usar locaciones para cada maquinaria en la situación actual y en la situación propuesta, adicionalmente se tiene una locación artificial para el proceso de registrar las horas de cada turno.

Zona	Nombre	Cap.	Unidades	Tfo.	Estadist	Reglas...
	loc1	1	1	Máquina	Series de tiempo Má Tiempo	
	loc2	1	1	Máquina	Series de tiempo Má Tiempo	
	loc3	1	1	Máquina	Series de tiempo Má Tiempo	
	loc4	1	1	Máquina	Series de tiempo Má Tiempo	
	loc5	1	1	Máquina	Series de tiempo Má Tiempo	
	loc6	1	1	Máquina	Series de tiempo Má Tiempo	

Figura 04. Creación de Locaciones

5.3.1.3. Recursos

Los recursos son cada una de las maquinarias (Cargador Frontal, Retroexcavadora y Minicargador), para la situación actual y la situación propuesta.

Zona	Nombre	Unidades	Tfo...	Estadist	Especif.	Distanc...	lógicas...	Pre...	Notas...
	Cargador frontal_Actual	1	0:00	Por Unidad, Serie:loc1, RI	Máquina	0		1	
	Retroexcavadora_Actual	1	0:00	Por Unidad, Serie:loc2, RI	Máquina	0		1	
	Minicargador_Actual	1	0:00	Por Unidad, Serie:loc3, RI	Máquina	0		1	
	Cargador frontal_Proy	1	0:00	Por Unidad, Serie:loc4, RI	Máquina	0		1	
	Retroexcavadora_Proy	1	0:00	Por Unidad, Serie:loc5, RI	Máquina	0		1	

	ESCENARIO ACTUAL				ESCENARIO PROPUESTO			
	Tiempo eléctrico entre fallas	Tiempo reparack	Horas Disponibles	% Dispon	Tiempo eléctrico Mto Prev	Tiempo reparack Mto Prev	Horas Disponibles	% Dispon
CARGADOR FRONTAL	00.00	0000	0.00	0.00	00.00	0000	000	0.00
RETROEXCAVADORA	00.00	0000	0.00	0.00	00.00	0000	000	0.00
MINICARGADOR	00.00	0000	0.00	0.00	00.00	0000	000	0.00

Figura 05. Creación de Recursos

- Para la situación actual, el color amarillo representa que no ha presentado una falla y está operando. El color rojo indica que ha ocurrido una falla y que está en reparación.



Figura 06. Representación de color amarillo (operativo), rojo (falla)

- Para la situación propuesta, el color amarillo representa que no está en mantenimiento preventivo y está operando. El color violeta indica que la maquinaria está en mantenimiento preventivo



Figura 07. Representación de color amarillo (operativo), rojo (falla), violeta (mantenimiento preventivo)

5.3.1.4. Asignación Variables.

En la figura 08, se asignaron las variables para la simulación

Variables (global)		
Icono	ID	
Si	v1_MTTR_carg	Real
Si	v2_MTTR_retroex	Real
Si	v3_MTTR_minic	Real
Si	v1_MTBF_carg	Real
Si	v2_MTBF_retroex	Real
Si	v3_MTBF_minic	Real
Si	V_H_disp_carg	Real
Si	V_H_disp_retroex	Real
Si	V_H_disp_minic	Real
Si	V_Porc_disp_carg	Real
Si	V_Porc_disp_retroex	Real
Si	V_Porc_disp_minic	Real
Si	v4_MTTR_carg_prop	Real
Si	v5_MTTR_retr_prop	Real
Si	v6_MTTR_minic_prop	Real
Si	v4_MTBF_carg_prop	Real
Si	v5_MTBF_retr_prop	Real
Si	v6_MTBF_minic_prop	Real
Si	V_H_disp_carg_prop	Real
Si	V_H_disp_retr_prop	Real
Si	V_H_disp_minic_prop	Real
Si	V_Porc_disp_carg_prop	Real
Si	V_Porc_disp_retroex_prop	Real
Si	V_Porc_disp_minic_prop	Real
Si	V_hora_trab	Real
No	V_IT_rep_carg	Real
No	V_IT_rep_retr	Real
No	V_IT_rep_minic	Real
No	V_N_rep_carg	Integer
No	V_N_rep_retr	Integer
No	V_N_rep_minic	Integer
No	V_IT_rep_carg_prop	Real
No	V_IT_rep_retr_prop	Real
No	V_IT_rep_minic_prop	Real
No	V_N_rep_carg_prop	Integer
No	V_N_rep_retr_prop	Integer
No	V_N_rep_minic_prop	Integer
Si	V_conf_carg	Real
Si	V_conf_retr	Real
Si	V_conf_minic	Real
Si	V_conf_carg_prop	Real

Figura 6. Asignación de Variables

En donde:

SITUACIÓN ACTUAL:

- **V1_MTTR_CARG; V2_MTTR_RETROEX; V3_MTTR_MINIC:**

Se refiere a los tiempos promedio para reparar, esto es las horas que se demora cada máquina por alguna reparación entre el total de paradas que ha tenido la misma, expresado en la situación actual.

- **V1_MTBF_CARG; V2_MTBF_RETROEX; V3_MTBF_MINIC:**

Se refiere al tiempo promedio que la máquina trabaja sin presentar alguna falla según el trabajo que se le asigne, se calcula entre las horas trabajadas sobre su número de fallas.

- **V_H_disp_Carg; V_H_disp_Retroex; V_H_disp_Minic**

Se refiere a las horas disponibles para cada una de la maquinaria, en la situación actual. Este tiempo es calculado por el software.

- **V_Porc_disp_Carg; V_Porc_disp_Retroex; V_Porc_disp_Minic**

Se refiere al porcentaje de horas disponibles respecto a las horas de turnos de trabajo, en la situación actual, este valor es calculado.

- **V_TT_rep_carg; V_TT_rep_retroex_; V_TT_rep_mini**

Se refiere al tiempo total de reparación, se va acumulando para la situación actual de todas las maquinarias.

- **V_H_rep_carg; V_H_rep_retroex; V_H_rep_mini**

Se refiere a los números de reparaciones en la situación actual

- **V_conf_carg; V_conf_retr; V_conf_minic.**

Se refiere al nivel de confiabilidad en la situación actual.

SITUACIÓN PROPUESTA:

- **V4_MTTR_Carg_Prop; V5_MTTR_Retroex_Prop;
V6_MTTR_Minic_Prop**

Se refiere a los tiempos promedio para reparar, esto es las horas que se demora cada máquina por alguna reparación entre el total de paradas que ha tenido la misma, expresado en la situación actual, para la situación propuesta.

- **V4_MTBF_Carg_Prop; V5_ MTBF _Retroex_Prop; V6_ MTBF _Minic_Prop**

Se refiere al tiempo promedio que la máquina trabaja sin presentar alguna falla según el trabajo que se le asigne, se calcula entre las horas trabajadas sobre su número de fallas, para la situación propuesta.

- **V_H_disp_Carg_prop; V_H_disp_Retroex_prop; V_H_disp_Minic_prop**

Se refiere a las horas disponibles para cada una de las maquinarias, en la situación propuesta, este tiempo es calculado por el simulador.

- **V_hora_trab**

Se refiere a las horas de trabajo asignados.

- **V_TT_rep_carg_prop; V_TT_rep_retroex_prop; V_TT_rep_mini_prop**

Se refiere al tiempo total de reparación, para la situación propuesta.

- **V_H_rep_carg_prop; V_H_rep_retroex_prop; V_H_rep_mini_prop**

Se refiere al número de mantenimiento preventivo para la situación propuesta.

- **V_conf_carg_prop; V_conf_retr_prop; V_conf_minic_prop.**

Se refiere al nivel de confiabilidad después de aplicar la simulación.

5.3.1.5. Paradas de recursos

- Situación actual

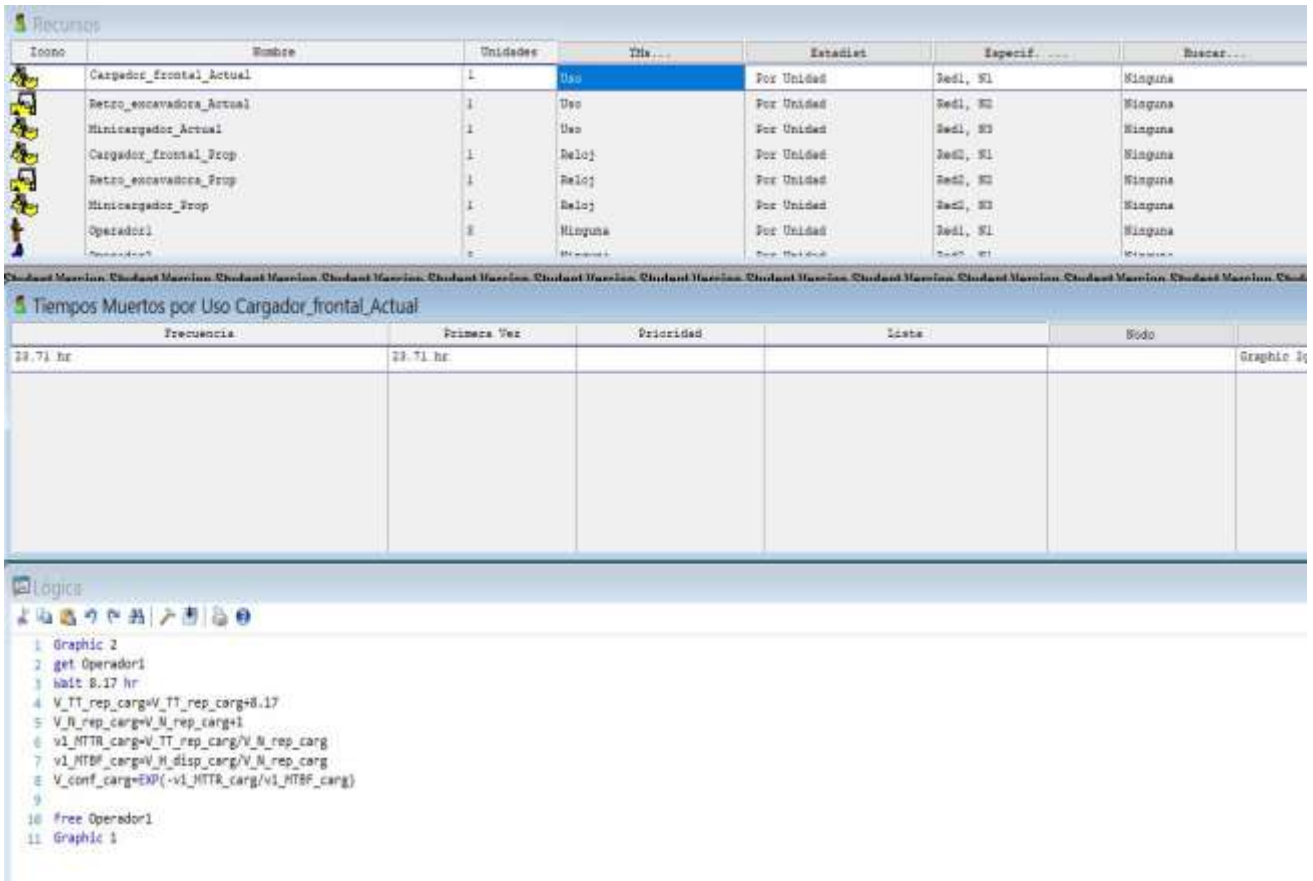


Figura 09. Creación de Parada de recursos para la situación actual

Interpretación:

En la figura 09, Para la situación actual; en cada maquinaria se asignó una parada del tipo “Uso”, porque cada cierto tiempo que se ha usado se ha malogrado, como por ejemplo el cargador frontal tiene una frecuencia promedio de 23.71 horas que se ha malogrado y el tiempo de reparación promedio ha sido un total de 8.17 horas, luego de ese tiempo, el recurso queda disponible para el “Uso”.

- **Situación Propuesta**

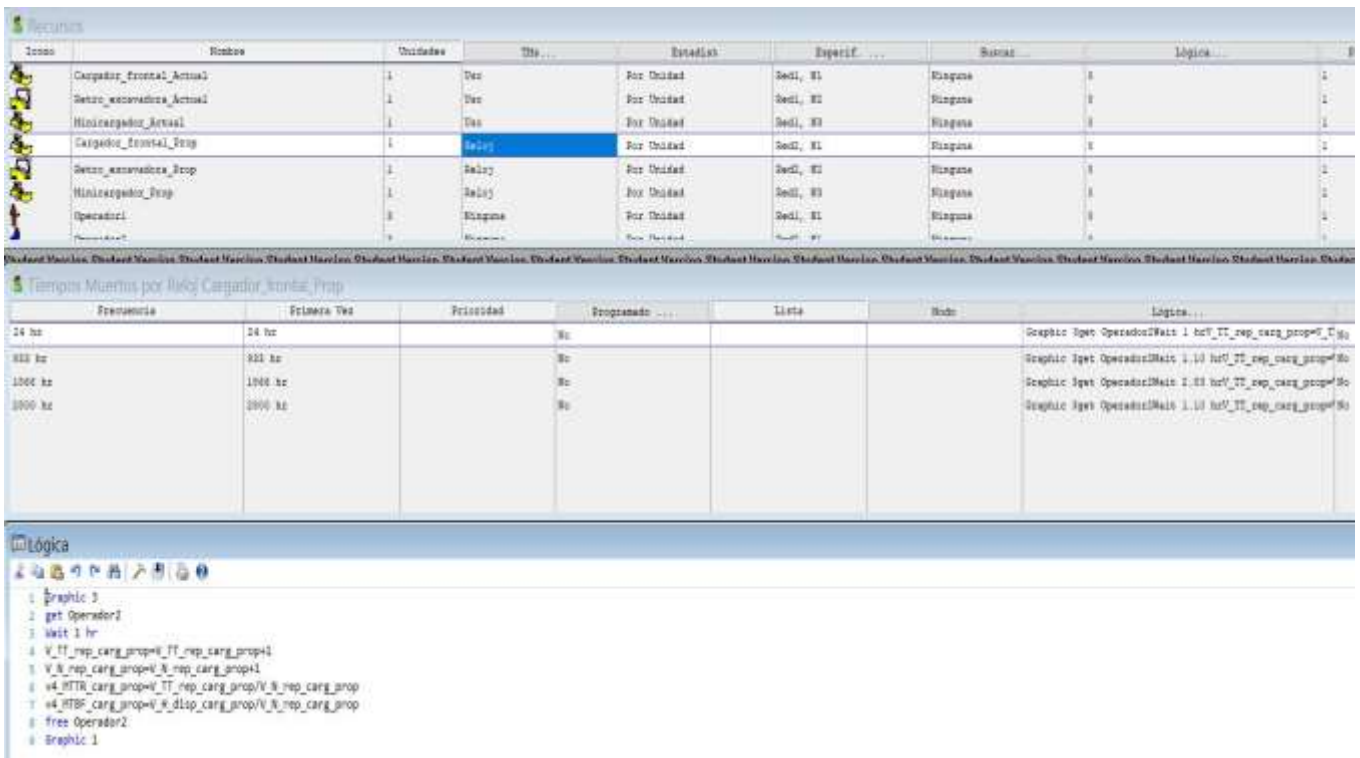


Figura 9.1. Creación de Parada de recursos para la situación Propuesta

Maquinaria	Frecuencia de mantenimientos preventivos (Horas)			
	24	933	1866	2426
Cargador Frontal 950H	0.85	4.8	9.9	10.5
Retroexcavadora 420f	0.5	5.08	10.83	4.92
Minicargador 242B	0.83	4.3	7.6	4

Tabla 18. Resumen de Frecuencia de mantenimientos. Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

En la figura 9.1 para la situación Propuesta; en cada maquinaria se asignó una parada del tipo “Reloj”, porque está programado cada ciertas horas en donde hará tareas de mantenimiento preventivo, por eso se considera que cada 24 horas efectivas (considerando las horas fuera de turno) existirán ciertas tareas de

mantenimiento, y la lógica es que llama al operario 2 y espera el tiempo de mantenimiento (1 hora), se agrega el número de reparaciones y se calcula el MTTR y el MTBF actual, además en la tabla 18 podemos observar la frecuencia de mantenimientos preventivos que se ingresó a la simulación cada cierto tiempo (24, 933,1866, 2426 Horas), así como también el tiempo de mantenimientos preventivos cada vez que la maquinaria se encuentre entre esas frecuencias, esto es de acuerdo a nuestro programa de mantenimiento, **ver anexo 16,17,18.**

5.3.1.6. Procesamiento

- Situación actual

The image shows two overlapping windows from a simulation software. The top window, titled 'Proceso', contains a table with three columns: 'Entidad...', 'Locación...', and 'Operación...'. The bottom window, titled 'Operación', shows a sequence of operations for a 'Cargador frontal' resource, including a 'get' command, a 'wait' of 0.99 hours, and calculations for 'V_H_disp_carg' and 'V_Porc_disp_carg'. To the right of the 'Operación' window is a control panel with three rows: 'CARGADOR FRONTAL', 'ROEXCAVADORA', and 'MICARGADOR', each with two numerical input fields.

Entidad...	Locación...	Operación...
E_art	L_Art	V_hora_trab=V_hora_trab+1
E_art	Loc1	.sp_carg=V_H_disp_carg/V_hora_trabFree All
E_art	Loc2	get Retro_excavadora_ActualWait 0.99 hrV_H_d
E_art	Loc3	get Minicargador_ActualWait 0.99 hrV_H_dis
E_art	Loc4	get Cargador_frontal_PropWait 0.99 hrV_H_d
E_art	Loc5	get Retro_excavadora_PropWait 0.99 hrV_H_d
E_art	Loc6	get Minicargador_Prop Wait 0.99 hrV_H_disp

1	get Cargador_frontal_Actual
2	
3	Wait 0.99 hr
4	V_H_disp_carg=V_H_disp_carg+1
5	V_Porc_disp_carg=V_H_disp_carg/V_hora_trab
6	Free All
7	
8	

CARGADOR FRONTAL	0.00	0.
ROEXCAVADORA	0.00	0
MICARGADOR	0.00	0

Figura 10. Creación de Parada de recursos para la situación actual.

Interpretación

En la figura 10, se puede ver el procesamiento y el cálculo de las horas disponibles que va aumentando de 1 en 1 cuando está libre el cargador, y el porcentaje de disponibilidad, eso es para las 3 maquinarias en la situación actual.

- Situación Propuesta

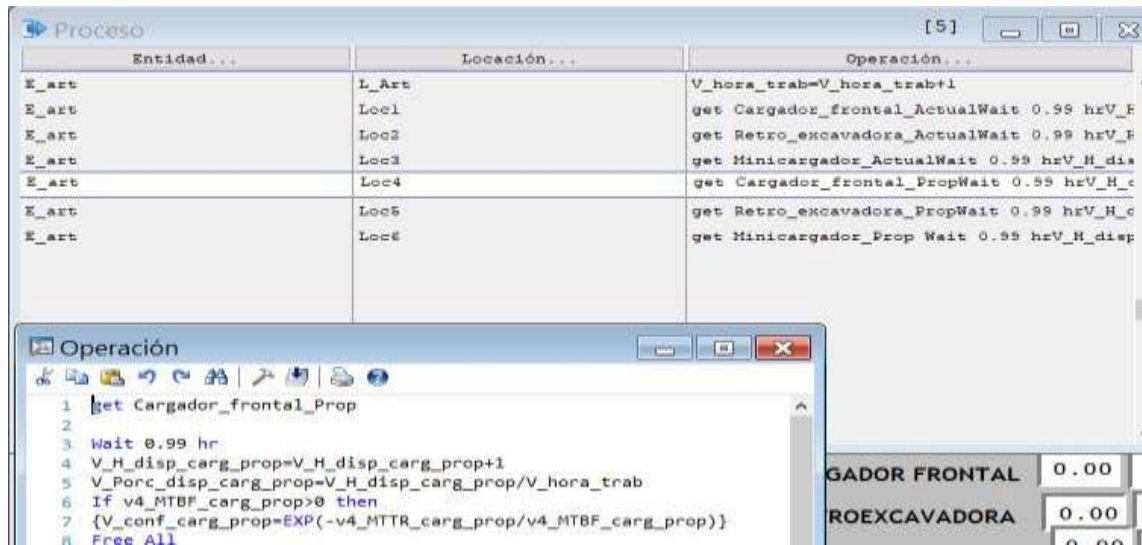


Figura 10.1. Creación de Parada de recursos para la situación Propuesta

Interpretación

En la figura 10.1, se puede observar el procesamiento y el cálculo de las horas disponibles que va aumentando de 1 en 1 cuando está libre el cargador y el porcentaje de disponibilidad, además se está agregando la confiabilidad, si el MTBF > 0, se puede calcular confiabilidad.

5.3.1.7. Turnos de Trabajo

Se creó el siguiente turno de trabajo, en cada maquinaria trabaja 8 horas diarias a excepción de sábado que solo trabaja 5 horas.

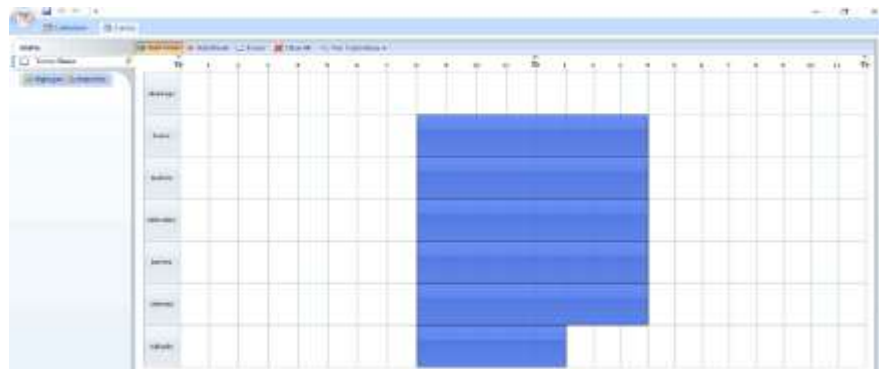


Figura 11. Creación de Turnos de trabajo.

Se asignó este turno para la locación artificial como para los recursos.

Locaciones...	Recursos...	Archivo de Calendario...	Prioridades...	Lógica...	Deshabilitar
L_art	Cargador_fronal_Actual, Cargador_fronal	Horario trabajo.pascal	99, 99, 99, 99		No

5.3.1.8. Arribos

Es creado tanto para los requerimientos de maquinaria como para los registros de horas de trabajo, la frecuencia es el promedio de fallas que existió en un nivel inicial. Se tienen requerimientos para cada maquinaria, tanto en la situación actual como en la propuesta.

Entidad...	Locación...	Cant. por Arriba...	Primeras Vec...	Ocurrencias	Frecuencia	Lógica...	Desab...
E_art	L_art	1	Fri, Oct 01 2021 @ 07:59 AM	100	1 hr		No
E_art	loc1	1	Fri, Oct 01 2021 @ 08:00 AM	100	1 hr		No
E_art	loc2	1	Fri, Oct 01 2021 @ 08:00 AM	100	1 hr		No
E_art	loc3	1	Fri, Oct 01 2021 @ 08:00 AM	100	1 hr		No
E_art	loc4	1	Fri, Oct 01 2021 @ 08:00 AM	100	1 hr		No
E_art	loc5	1	Fri, Oct 01 2021 @ 08:00 AM	100	1 hr		No
E_art	loc6	1	Fri, Oct 01 2021 @ 08:00 AM	100	1 hr		No

Figura 12. Creación de Arribos.

5.3.1.9. Tiempo de Simulación

La presente simulación se configuro en tiempo por calendario. Se asignó un total de 179 días de trabajo que empieza el 01 de octubre y termina el 17 de febrero del 2022, lo que es equivalente a las 900 horas que consta nuestro programa de mantenimiento preventivo.

Opciones de Simulación

Resultados:

Ejecución:

Tiempo
 Semanal
 Calendario

Período Estabilización:

Sun, Nov 07 2021 @ 12:00 AM
 Fri, Oct 01 2021 @ 12:00 AM
 Thu, Feb 17 2022 @ 04:00 PM

Precisión del Reloj: Segundo Hora Minuto Día

Reporte de Resultados: Estándar Lotes Periódico

Tamaño de Intervalo:

Número de Réplicas:

Deshabilitar Animación Costo
 Exportar Arreglo Serie de Tiempo

Al Inicio: Pausa Notas de Modelo
 Rastrear Panel de Vistas

General: Ajustar para Horario de Verano
 Generar Script de Animación
 Números Aleatorios Comunes
 Omitir TMs de recursos si están fuera de turno
 Recompilar Redes

Abrir Visualizador(es): Output Viewer Minitab

Figura 13. Asignación de tiempos

5.3.1.10. Ejecución de la Simulación

En la figura 14, se puede visualizar el registro de las variables y el cambio de colores según estado de los equipos.



Figura 14. Ejecución de Simulación

5.3.1.11. Resultados de la Simulación



Figura 15. Resultados de la Simulación

Interpretación

En la figura 15 podemos observar los datos en una situación actual en donde el cargador frontal llega a tener 75% de disponibilidad y 69% de confiabilidad y de las 900 horas de trabajo, solo tuvo 664 horas disponibles, la retroexcavadora llega a tener 655 horas disponibles, cuenta con una disponibilidad del 74% y una confiabilidad del 65%, asimismo el minicargador en la situación actual llega a tener 669 horas de trabajo con una disponibilidad del 76% y una confiabilidad del 70%, para la situación propuesta luego de ingresar los datos del programa de mantenimiento y las frecuencias a las que se le va hacer un mantenimiento preventivo, existió mejoras en los indicadores del cargador frontal ya que llegó aumentar sus horas disponibles de trabajo, siendo éstas 725 horas y asimismo aumentó su disponibilidad a un 92% y confiabilidad al 92%, asimismo la

retroexcavadora llega a tener 751 horas disponibles de trabajo con una disponibilidad del 92% y una confiabilidad del 92%, del mismo modo el Minicargador llega a tener 735 horas disponibles con una disponibilidad del 90 % y una confiabilidad del 90%.



Figura 16. Porcentaje de disponibilidad actual y propuesta.

En la figura 16, se puede ver el % uso de las maquinarias. El color naranja indica % parada.

En la situación propuesta se tiene menor % de paradas y por ende mayor % de tiempo disponible.

Se concluye que mediante la simulación, se demuestra que la propuesta del mantenimiento preventivo es más eficiente que la situación actual.

Locaciones	Horas disponibles	MTTR	MTBF	Disponibilidad (%)	Confiabilidad (%)
Cargador Frontal 950h	725	2.49	29.65	92	92
Retroexcavadora 420f	751	2.19	26.18	92	92
Minicargador 242B	735	3.31	29.94	90	90

Tabla 19. Indicadores actuales post simulación. Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

A través de la tabla 19 podemos observar que El software nos arrojó nuevas valoraciones en cuanto a los indicadores de mantenimiento en cuanto a MTTR, MTBF, Confiabilidad y Disponibilidad de cada maquinaria, esto se llegó a concretar porque se tomó como guía al intervalo de tiempo que se expuso en el programa de mantenimiento preventivo de cada maquinaria. Éstos resultados dependen de la cantidad de tareas y de los números y tiempos de mantenimientos que se le son asignados.

Maquinaria	Horas disponibles		MTTR		MTBF		Disponibilidad (%)		Confiabilidad (%)	
	Sit. Actual	Simulación	Sit. Actual	Simulación	Sit. Actual	Simulación	Sit. Actual	Simulación	Sit. Actual	Simulación
Cargador Frontal 950h	664	725	8.17	2.49	23.96	29.65	75	92	69	92
Retroexcavadora 420f	655	751	7.44	2.19	20.90	26.18	74	92	65	92
Minicargador 242B	669	735	8.10	3.31	25.15	29.94	76	90	70	90

Tabla 20. Análisis Comparativo de Indicadores. Fuente: Elaboración Propia.

6. Resultado del objetivo específico 6: Evaluar costos de inversión para la implementación del plan y proyectar el beneficio económico de retorno de la inversión.

6.1. Determinar nivel inicial del costo por mantenimientos correctivos en el periodo de 5 meses (enero – mayo 2021).

En la tabla 21 se visualiza un resumen de los costos totales por mantenimiento correctivo de las maquinarias críticas, las cuales fueron el Cargador Frontal Cat 950h – 2012, la Retroexcavadora Cat 420f-2010 y el Minicargador Cat 242B – 2008, está se determinó por el informe técnico que nos brindó la empresa y que consta del Costo general (incluye Mano de obra y repuestos) de cada falla que ocurrió, así como también las horas de reparación que involucró cada falla en cada mes.

6.1.1. Determinación de Costos iniciales por mantenimientos correctivos en el periodo de enero – mayo 2021 de las maquinarias pesadas de la empresa JCC Ingenieros Contratistas.

Para poder determinar los costos iniciales que tuvieron las maquinarias pesadas de la compañía, se recurrió a los informes técnicos que contaba la empresa, luego se tuvo que clasificar por el número de fallas que tuvo la maquinaria en cada mes, así como sus horas de reparación y el costo total que tuvieron esas fallas según el mes trabajado, **ver anexo 19.**

Maquinarias de la Empresa JCC Ingenieros Contratistas	Costos iniciales por mantenimientos correctivos (USD \$)
Cargador Frontal Cat 950h – 2012.	USD \$ 2150.00
Retroexcavadora Cat 420f – 2010	USD \$ 2250.00

Minicargador Cat 242B - 2008	USD \$ 1100.00
TOTAL	USD \$ 5 500.00

Tabla 21. *Resumen de Costos Inicial por mantenimientos Correctivos de las maquinarias pesadas de línea amarilla de la empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.* Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

En la tabla 21 se visualiza el costo total de mantenimientos correctivos que tuvieron en un inicio la empresa JCC Ingenieros Contratistas por fallas en su maquinaria pesada de línea amarilla, éstas acumularon una pérdida económica total de USD \$ 5 500.00 en un periodo de tiempo de 5 meses, siendo la Retroexcavadora 420f – 2012, la que generó más gastos debido a fallas no previstas, con un total de USD \$ 2250.00 dólares americanos, el detalle de los costos por mantenimiento correctivos se pueden visualizar en el **anexo 19**.

6.2. Determinar el costo del plan de mantenimiento preventivo.

En la tabla 21 se visualiza los costos que significa aplicar el plan de mantenimiento, éstos costos comprende las siguientes máquinas: Cargador Frontal Cat 950h – 2012, Retroexcavadora Cat 420f-2010 y Minicargador Cat 242B – 2008, y en éstos esta detallado la mano de obra del personal encargado a realizar las tareas de mantenimiento, así como también los costos de repuestos, los números de mantenimiento y la duración de cada tarea, estos son indispensables para poder obtener nuestros costo totales.

6.2.1. Determinación del costo para la aplicación del programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa JCC Ingenieros Contratistas

El costo para la aplicación del plan de mantenimiento preventivo involucró varios ítems los cuales fueron, los sistemas, el número de mantenimiento preventivo (M.P), la duración de M.P (Horas), Costos del mantenimiento Preventivo (Repuestos), Costos de Mano de obra (M.O) y el costo total, para visualizar

detalladamente los costos por el programa de mantenimiento preventivo se puede observar en los **anexos 16, 17, 18**.

MAQUINARIA	Costos totales por programa de mantenimiento preventivo (USD \$.)
<i>Cargador Frontal 950H</i>	USD \$ 2985.2
<i>Retroexcavadora Cat 420f-2010</i>	USD \$ 2207.2
<i>Minicargador Cat 242B – 2008</i>	USD \$ 1622.7
TOTAL	USD \$ 6815.1

Tabla 22. Resumen de los Costos de la aplicación del programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa JCC Ingenieros Contratistas
FUENTE: Elaboración Propia

Interpretación:

A través de la tabla 22 podemos visualizar los costos que implican implementar un mantenimiento preventivo para la empresa, éstos vienen detallados de la siguiente manera: para el Cargador frontal 950h - 2012 se consideró un costo total de mantenimiento preventivo de USD \$ 2985.2, para la Retroexcavadora 420f - 2010 el costo total para aplicar su mantenimiento preventivo fue de USD \$ 2207.2 y por último el Minicargador Cat 242B – 2008 tuvo un costo general de mantenimiento preventivo de USD \$ 1622.7, haciendo un total de USD \$ 6815.1 para la implementación del programa de mantenimiento preventivo en la empresa.

6.3. Ahorro por Horas Perdidas.

Para realizar un mejor análisis en el tema de costos para nuestra investigación, hemos considerado el ahorro que existió en 900 horas de trabajo por horas pérdidas gracias a los datos que nos arrojó la simulación, estos fueron:

Maquinaria	Horas disponibles post plan	Horas disponibles pre plan	AHORRO (horas)
Cargador frontal 950h – 2012	725	664	61
Retroexcavadora 420f - 2010	751	655	96

Minicargador 242B - 2008	735	669	66
-----------------------------	-----	-----	----

Tabla 23. Resumen de ahorro en horas trabajadas. Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

A través de la tabla 23 podemos observar las ganancias de horas que existió después de simular el plan en el software, éstas fueron: el cargador frontal Cat 950h sin un programa de mantenimiento preventivo solo tenía 664 horas disponibles de un total de 900, en cambio a través de la aplicación del plan mediante simulación hubo un aumento en las horas post plan que fue del 725 generando un ahorro de 61 horas, asimismo la Retroexcavadora 420f-2010 tuvo un ahorro de 96 horas disponibles y en el Minicargador Cat 242B existió 66 horas disponibles a través de la aplicación.

6.3.1. Ganancia por Horas Perdidas

Maquinaria	Ahorro en horas	Costo Hora – Máquina (USD \$)	Ahorro Total (USD \$)
Cargador frontal 950h – 2012	61	USD \$ 70.00	USD \$ 4 270.00
Retroexcavadora 420f - 2010	96	USD \$ 70.00	USD \$ 6 720.00
Minicargador 242B - 2008	66	USD \$ 50.00	USD \$ 3 300.00

Tabla 24. Resumen de ganancia por Costo de Hora – máquina en 900 Horas. Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

Mediante la tabla 24 se puede visualizar la ganancia que existe por el ahorro económico en horas perdidas, conociendo los precios del mercado en cuanto a alquiler de maquinarias, éstas oscilan los USD \$ 70.00 la hora para el cargador frontal 950h y si se sabe que a través del programa de mantenimiento éste ha ganado 61 horas disponible quiere decir que hay una ganancia de USD \$ 4 270.00, asimismo para la Retroexcavadora hubo 96 horas de ahorro en horas, si sabe que esa máquina se alquila por USD \$ 70.00 la hora, ésta genera un ahorro de USD \$

6 720.00, del mismo modo el alquiler por hora del Minicargador Cat 242B es de USD \$ 50.00 y si sabemos que a través del tiempo simulado ésta máquina ganó 66 horas disponibles se convierte en una ganancia del USD \$ 3 300.00, estas ganancias fueron calculadas por un periodo de 900 horas que fue de la situación actual y también de la aplicación del plan en la simulación.

Maquinaria	Ahorro en 900 horas	Ahorro en 2160 horas (año)
Cargador frontal 950h – 2012	USD \$ 4 270.00	10248.00 \$. Año
Retroexcavadora 420f - 2010	USD \$ 6 720.00	16128.00 \$. Año
Minicargador 242B - 2008	USD \$ 3 300.00	7920.00 \$. Año
TOTAL	USD \$ 14 290.00	34 296.00 \$. Año

Tabla 25. Resumen de ganancia por Costo de Hora – máquina para 2160 Horas.
Fuente: Elaboración Propia.

Interpretación:

Mediante la tabla 25 podemos observar nuestro costo por Ahorro en horas perdidas de manera anual, éste se generó por las 3 maquinarias acumulando un total de USD 34 296.00 \$. Año.

6.4. Beneficio Útil.

$$Beneficio_{\text{útil}} = (\text{Ahorro en horas perdidas}) - (\text{Costo MC} + \text{Costo M.P})$$

$$Beneficio_{\text{útil}} = (34\,296.00 \$) - (5\,500.00 \$ + 6815.10 \$)$$

$$Beneficio_{\text{útil}} = 21\,981.00 \$.\text{Año}$$

6.4.1. Inversión:

- Analizador de aceites lubricantes Minilab 33 = USD \$ 4 500.00
- Enllante y desenllante Electrónico = USD \$ 4 000.00
- Capacitación de personal = USD \$ 2 500.00

6.4.2. Retorno de Inversión

$$R.O.I. = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}_{\text{útil}}}$$

$$R.O.I. = \frac{11\,000.00}{21\,981.00}$$

$R.O.I. = 0.5 * 12 = 6$ meses retorna su inversión.

V. DISCUSIONES

5.1. Teniendo en cuenta la fundamentación teórica presentadas por el autor Zambrano quien describe a la disponibilidad como el tiempo de trabajo de una máquina que está listo para operar o producir, consideramos tiempos disponibles a todo tiempo excepto aquel que ha sido programado para otras tareas , Utilizando la ecuación n° 3 para sus cálculos, de igual modo define a la confiabilidad como el desempeño de un dispositivo para llevar a cabo su función prevista durante un periodo de tiempo proyectado y proporcionan la ecuación n° 4, para su cálculo, nosotros utilizando la ecuaciones antes mencionadas hemos llegado a los siguientes resultados: el cargador frontal 950 H cuenta con una disponibilidad del 72.77% y una confiabilidad del 65.33%, del mismo modo para la Retroexcavadora 420 F -2010 se encontró una disponibilidad del 71.88% y una confiabilidad del 62.34% , de la misma manera para el minicargador 242 B – 2008 cuenta con una disponibilidad del 74.12% y una confiabilidad del 67.6%, corroborando que nuestros resultados están dentro de los rangos esperados hemos tomado como referente a la investigación de Mendoza y Gamarra (2020) que ha publicado en su tesis titulada “Plan de mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Grupo Señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz-2020”, en donde los indicadores iniciales del sistema los ha tomado de un promedio de 720 horas trabajadas, el nivel más bajo de disponibilidad que tienen sus maquinarias son: Volvo FM 6X4R - B6P 828 (83%) y una confiabilidad del 85%, Volvo FM 6X4R – T4A 867 (84%) y tiene una confiabilidad del 86%, Volvo FM 6X4R – C4Y 769 (79%) y su confiabilidad inicial fue del 83% y para la Excavadora - EC 300 (87%) y tiene de confiabilidad un 88%. Éstos resultados están dentro de los obtenidos por nosotros. Haciendo como referencia que nuestro estudio tiene un promedio de 900 horas respecto a las 720 horas de los autores Mendoza y Gamarra (2020).

5.2. Considerando la fundamentación teórica presentada por el autor, Ricaldi, 2013, en donde nos recomienda que las fallas en los equipos se deben de jerarquizar para disminuir la toma de decisiones y poder concentrarse en los recursos que sean

de suma importancia para una mejora en el contexto operacional, así también el autor Romero, 2013, recomienda usar la matriz de criticidad donde hay un código de colores para identificar la maquinaria más crítica, semi-crítica y no crítica, hallando la criticidad mediante la ecuación de Criticidad = Frecuencia x Consecuencia, en base a estos autores es donde hemos podido evaluar la criticidad de las 7 maquinarias dando como resultado 4 maquinarias Críticas y 3 maquinarias No Críticas, en nuestro estudio no hemos contado con maquinarias semi-críticas, de igual modo Mendoza y Gamarra (2020) ha publicado en su tesis titulada “Plan de mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Grupo Señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz-2020, que realizó su análisis de criticidad a las 10 maquinarias de su empresa dándole como resultado 4 maquinarias críticas, 4 maquinarias semi – críticas y 2 maquinarias no críticas, lo cual estos valores se encuentran dentro de los resultados encontrados por nosotros.

5.3. En vista de la fundamentación teórica presentada por el autor John Moubray, 2004, en donde recomienda hacer un análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), identificando varias preguntas y dando valores a rangos predeterminados, es que nosotros efectuamos dicho análisis para obtener nuestro número de Prioridad de riesgos (NPR), de tal modo que pudimos obtener el AMEF para el cargador Frontal donde nos da como resultado 23 fallas funcionales entonces luego de nuestro análisis para obtener el NPR mayores a 200 fueron igual a 16, del mismo modo para obtener el AMEF de la Retroexcavadora 420f-2010 se pudo identificar 31 fallas funcionales de las cuales 2 tuvieron un NPR mayor a 200, finalmente en el AMEF para el Minicargador 242B-2008, encontramos 22 fallas funcionales de las que 13 obtuvieron el NPR mayor a 200, de igual modo Barrientos medina ha publicado en su tesis titulada “Mejora de la Gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF”, en donde mediante éste análisis logra obtener las fallas funcionales de las Excavadores dando un total de 27, así mismo analizó su Número Prioritario de Riesgo (NPR) que sean mayor de 400 obteniendo un valor igual a 9, lo cual se encuentra dentro de los resultados encontrados por nosotros.

5.4. Teniendo en cuenta la fundamentación teórica presentadas por el autor Schenkelberg, 2018, donde nos indica que un plan de mantenimiento es una serie de actividades que se deben de realizar programada mente con el fin de mejorar la vida útil de los activos, de tal manera nuestro plan de mantenimiento está basado para un tiempo de 750 horas programadas que es el promedio en el cual la empresa ejecuta obras, éste plan cuenta con una serie de tareas programadas como lo es para el cargador frontal que tiene un total de 48 actividades de mantenimiento preventivo que involucran 26 horas y tienen un costo de US\$ 2985.2 dólares americanos, asimismo la Retroexcavadora cuenta con 44 tareas de mantenimiento preventivo que tienen un total de 21.2 horas y un costo de US\$. 2207.2 dólares americanos, finalizando contamos con el minicargador que tiene 39 tareas programadas de mantenimiento y que para cumplirlas se necesitan 17.51 horas con un costo total de US\$. 1622.7. De la misma manera Mendoza y Gamarra (2020) ha publicado en su tesis titulada “Plan de mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Grupo Señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz-2020, en donde implementa un programa de mantenimiento con una serie de tareas programadas para sus 4 maquinarias pesadas críticas, las cuales son para su volquete Volvo B6P 828 (2010), consta de 154 tareas con una duración de 189 horas y un precio de S/. 14370.00, el volquete Volvo T4A 867 (2012) tiene 134 tareas que duran 159.5 horas y tienen un precio de S/. 13 015.00, del mismo modo el volquete Volvo C4Y 767 (2012) consta de 157 tareas que duran 201 horas con un costo de S/. 15810.00. Éstos resultados están dentro de los obtenidos por nosotros. Haciendo como referencia que nuestro estudio tiene un promedio de 900 horas respecto a las 720 horas de los autores Mendoza y Gamarra (2020).

5.5. Considerando la fundamentación teórica presentada por los autores (GARCÍA, E. & GARCIA, H. & y CÁRDENAS, L. 2006) en donde nos dice que para crear un sistema de simulación tendrá que pasar por diferentes comandos que vienen del Menú, estos son: las entidades, locaciones, llegadas y procesamientos. (GARCÍA, E. & GARCIA, H. & y CÁRDENAS, L. 2006), del mismo modo creamos nuestra simulación para un tiempo calendario de 900 horas y unos intervalos de mantenimiento preventivos que van desde los 8, 250, 500 y 750 horas, asimismo la simulación nos entregó resultados positivos elevando nuestros diferentes

indicadores de nuestras maquinarias como fue para el cargador frontal con una disponibilidad inicial de 75% y aumentando post simulación a un 92 % de la misma manera para la confiabilidad que aumento desde 69% hasta un 92 %, la retroexcavadora incrementó su disponibilidad de un 74% inicial a un 92% final y su confiabilidad se elevó desde un 65% hasta un 92%, de la misma manera el minicargador aumento su disponibilidad de un 76% hasta un 90%. Del mismo modo Castañeda Rivera en su investigación titulada “Plan de mantenimiento preventivo basado en la norma ISO 55000 para mejorar la disponibilidad de las máquinas y equipos de la empresa metalmecánica maz ingenieros contratistas S.A.C.”, el autor llega a simular su plan de mantenimiento preventivo a través del software Promodel, demostrándole también resultados positivos en los valores de sus indicadores tal es el caso de su máquina Sold. MIG – SOLDAMAX, que tiene una disponibilidad previa del 71.15% y tras la simulación alcanza los 92.31%, una confiabilidad previa del 67.80 % y tras la simulación llega a los 89.01%, de tal manera podemos concluir que sus resultados están dentro de los obtenidos por nosotros.

5.6. En vista de la fundamentación teórica presentada por los autores (Galar et al, 2015), donde nos habla de los costos de mantenimiento e indica que toda compañía protege la inversión de sus activos y a cada instante busca mejoras que influyan en el tiempo de vida útil de sus máquinas o equipos, de tal manera para nuestros costos por mantenimientos, hemos considerado una inversión en compra de equipos que son de utilidad en las maquinarias y hacen una inversión total de USD \$ 11 000.00 frente a mi beneficio útil de USD \$ 21 981.00, estos datos me dan como resultado mi retorno de inversión que se generará en un lapso de 6 meses, del mismo Castañeda Rivera en su investigación titulada “Plan de mantenimiento preventivo basado en la norma ISO 55000 para mejorar la disponibilidad de las máquinas y equipos de la empresa metalmecánica maz ingenieros contratistas S.A.C.” tiene un costo total de mantenimiento de su maquinaria de S/. 23 410.00 agregando sus insumos y sueldo su costo total llega a S/. 76 110.00, teniendo como Retorno de inversión de 3 años.

VI. CONCLUSIONES

6.1. Por lo que podemos concluir que nuestro estudio esta abalado tanto por la teoría que utilizamos del autor Zambrano E, Prieto A. Castillo R. en su publicación del año 2015 y además corroborando por la investigación realizada en 2020 por los investigadores Mendoza Y Gamarra (2020). Ya que nuestras condiciones iniciales son: cargador frontal 950 H (80.4%), retroexcavadora 420 F -2010(78.01%), minicargador 242 B – 2008 (80.2%).

6.2. Se puede concluir qué, la presente investigación está avalado tanto por la teoría de los autores Ricaldi y Romero, en su publicación del año 2013, y además esta corroborado por los autores Mendoza y Gamarra (2020) en su tesis titulada “Plan de mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Grupo Señor de Pomallucay S.R.L., esto quiere decir que para poder realizar un buen plan de mantenimiento tenemos que empezar jerarquizando las fallas para darle prioridad a las más críticas.

6.3. Entonces se concluye, nuestro estudio está avalado tanto por la teoría del autor John Moubray en su publicación del año 2004, y además corroborado por Barrientos medina ha publicado en su tesis titulada “Mejora de la Gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología AMEF”, esto quiere decir que para un eficaz plan de mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad se tiene que usar ésta metodología.

6.4. De tal manera se concluye, que el presente estudio está avalado tanto por la teoría que utilizamos del autor Schenkelberg, 2018 y además corroborado por la investigación realizada en 2020 por los investigadores Mendoza y Gamarra (2020). Ya que nuestro plan de mantenimiento consta de diversas tareas a cumplir en un determinado periodo de tiempo y así mejorar la condición de las maquinarias pesadas.

6.5 Se llega a la conclusión que la presente tesis está respaldada de tal modo por la teoría que se utilizó de (GARCÍA, E. & GARCIA, H. & y CÁRDENAS, L. 2006) y además se respalda por la investigación de Castañeda (2017), en su investigación denominada “Plan de mantenimiento preventivo basado en la norma ISO 55000

para mejorar la disponibilidad de las máquinas y equipos de la empresa metalmecánica maz ingenieros contratistas S.A.C.", ya que luego de haber realizado su plan de mantenimiento lo simuló mediante el software entregándole resultados positivos.

6.6. Se puede llegar a la conclusión que en esta investigación nos basamos en la teoría de costos de los autores (Galar et al, 2015) y también corroborado por el estudio de Castañeda (2017), luego de haber implementado el plan de mantenimiento se vio a resaltar sus costos iniciales que se realizaban debido a los abundantes mantenimientos reactivos y luego de haber implementado el plan claramente se notó una disminución de los costos de mantenimiento reactivo lo cual genero mejores ingresos para la compañía.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Es de vital importancia aplicar el programa de mantenimiento preventivo de la manera indicada para así poder aumentar la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas estudiadas, esto requiere de responsabilidad y mucha dedicación por parte del área encargada de la ejecución del mantenimiento, por lo cual es recomendable capacitar al personal y para que de esa manera adquieran nuevas formas y cuidados en el tema de mantenimiento.

7.2. Es recomendable implementar un sistema de información con todo los historiales de mantenimiento y de esa manera llevar el seguimiento sobre cada maquinaria a la cual se le realizó alguna tarea de mantenimiento, también se debe contar con un registro en donde detalle la duración de las tareas de mantenimiento así como los costos que éstas han generado.

7.3. Se debe de mejorar e implementar un adecuado sistema de los suministros de las compras y el abastecimiento de los repuestos de las máquinas esto con finalidad de contar con los repuestos que sean necesarios sin perder tiempo en las horas de reparación por falta de éstos.

7.4. Se recomienda la realización de los check list de manera semanal con la finalidad de llevar seguimiento constante a las maquinarias pesadas, asimismo llevar inspecciones programadas cuando la maquinaria se encuentre en obra para que de esa manera saber si se requiere algún tipo de mantenimiento preventivo o detectar alguna falla en operación.

7.5. Es recomendable la adquisición de un analizador de aceite ya que éste nos avisará en qué condiciones se encuentran los lubricantes de cada sistema en las maquinarias para que de esta manera tomar acciones diferentes en busca de la mejora de las maquinarias pesadas.

REFERENCIAS

ORGANIZACIÓN internacional de normalización (Suiza). ISO 9001 – International Organization for Standardization 9001. Ginebra: 2015. 45pp.

Disponible en <http://www.itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas ISO/ISO 9001-2015 Sistemas de Gesti%C3%B3n de la Calidad.pdf>

El pasado y el futuro de la gestión de mantenimiento industrial [Mensaje de un blog]. Lima: Christiansen, (15 de noviembre de 2018). [Fecha de consulta: 16 de junio de 2021]. Disponible en: <https://gerens.pe/blog/pasado-futuro-gestionmantenimiento/>

REVISTA IMG [en línea]. Lima: Skalinet, 2020 [fecha de consulta: 16 de junio de 2021]. Disponible en <https://www.revistaimg.com/el-mantenimiento-y-su-influencia-en-laproductividad-industrial/#>

Maquinaria pesada y vehículos operativos [en línea]. Lima: International Standard Serial Number, 2019 [fecha de consulta: 16 de junio de 2021]

Disponible en <https://portal.issn.org/resource/ISSN/0212-1840>

(Buelvas & Martinez, 2014), *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L*. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico=, Universidad Autónoma del Caribe, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/11619/813/TMEC%201144.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

(Amado & Campos, 2018), *Plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad de la excavadora CAT-336D2L, en la empresa Señor de Pomallucay, Jangas, 2018*, Tesis (Título de Ingeniero Industrial, Universidad César Vallejo, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26125>

Meza, L. M. (2020), *Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora cat 336 – Compañía Minera Raura S.A. 2019*. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Universidad Continental, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8061>

(Mendoza & Gamarra, 2020), "*Plan de mantenimiento Preventivo para incrementar la confiabilidad de las maquinarias pesadas de la empresa Grupo Señor de Pomallucay S.R.L., Huaraz-2020*", Tesis (Título de Ingeniero Industrial), Universidad César Vallejo, Perú. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57945>

Labra, E. (2018), "*Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad Provincial de Canchis – Cuzco*". Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista), Universidad Nacional del Altiplano. Perú. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9824/Labra_Quispe_Elisba_n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

(Luna & Toledo, 2019), "*Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para incrementar la confiabilidad en las maquinarias de la empresa OSIMIN S.R.L., Huaraz-2019*". Tesis (Título de Ingeniero Industrial), Universidad César Vallejo, Perú. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50373/Luna_AAB-Toledo_AAB%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Barrientos, G. (2017), "*Mejora de la Gestión de mantenimiento de maquinaria pesada con la metodología Amef*", Tesis (Título de Ingeniero Industrial y Comercial), Universidad San Ignacio de Loyola. Perú. Disponible en: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3465/3/2017_Barrientos-Medina.pdf

Castañeda, L. F. (2017). *Plan de mantenimiento preventivo basado en la Norma Iso 55000 para mejorar la disponibilidad de las máquinas y equipos de la empresa metalmecánica Maz Ingenieros Contratistas S.A.C.* Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista), Universidad César Vallejo, Perú. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/23052/casta%c3%b1eda_rl.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SCHENKELBERG, Fred. The Basics of Planned and Deferred Maintenance. *Revista Accendo Reliability* [en línea]. 1 de mayo de 2018. [Fecha de consulta: 20 de julio, 2021].

Disponible en <https://accendoreliability.com/basics-planned-deferred-maintenance/>

(Freite et al, 2014) *Definición de un plan de mantenimiento preventivo para los equipos clasificados como críticos e identificación de las fallas mecánicas de mayor impacto en la planta de producción de itacol s.a.*, [en línea]. 6 de junio de 2019 [Fecha de consulta: 20 de julio, 2021].

Rey, F. (2013). Elaboración y optimización de un plan de mantenimiento preventivo. *Técnica Industrial*. 20(308). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4970164>

Vásquez, P (2018) *Revista de Ingeniería Industrial, El mantenimiento Productivo Total "TPM" como factor para el aumento de la productividad y el nivel de aceptación del producto terminado. Vol.2 N°.3.* Disponible en: https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Industrial/vol2num3/Revista_de_Ingenier%c3%ada_Industrial_V2_N3_1.pdf

MARTINEZ GARCIA, Itamar Esdras *et al.* Reliability and Preventive Maintenance. *Springer Link* [en línea]. Agosto 2016. [Fecha de consulta: 16 de setiembre de 2021]. Disponible en https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-39095-6_15#citeas

(Ángel & Olaya, 2014) *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa agroangel.* Tesis (Título de Ingeniero Mecánico), Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4620/6200046A581.pdf;sequence=1>

Ricaldi, M. (2013) *Propuesta para la mejora de la disponibilidad de los camiones de una empresa de transportes de carga pesada, mediante el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento.* (Título de Ingeniero Industrial), Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. Disponible en: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/315015/ricaldi_a_m-pub-tesis.pdf?sequence=2

Romero, José Luis. 2013. *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón.* ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA. Sevilla – España.

QUEVEDO *et al.* Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (rcm) para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Revista Uss* [en línea]. Junio 2017, n°1. [Fecha de consulta: 22 de julio de 2021]. Disponible en <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/download/530/505/> ISSN: 2213-1826

Hernández & Navarrete (2001) Revista de indicadores de mantenimiento, *Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento. Rev. N°6*. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/notas/6calculo.pdf>

Zambrano et al, (2015), Revista de indicadores de mantenimiento, *Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas*. Vol. 17 N°3. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/993/99342682008.pdf>

(Santos & Strefezza, 2015), *Una visión en la evolución de las nociones de confiabilidad y mantenimiento en la civilización occidental desde la antigüedad hasta finales de los años cuarenta del siglo XX*, Vol.19 N°76, Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-48212015000300004&script=sci_abstract

(Galat et al, 2014) *La medición de la eficiencia de la función mantenimiento a través de KPIs financieros. Dyna*, 81 (184). Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/496/49630405014.pdf>

(García et al, 2013), *Simulación y análisis de sistemas con Promodel*, Pearson. Disponible en: <https://cffgblog.files.wordpress.com/2017/03/libro-simulacion-y-analisis-de-sistemas-2da-edicion.pdf>

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, Aladon Ltd.

(Campbell & Stanley, 1966) *Diseños Experimentales y cuasi experimentales en la investigación social*. Rand McNally & Company. Disponible en: <https://knowledgesociety.usal.es/sites/default/files/campbell-stanley-disec3b1os-experimentales-y-cuasiexperimentales-en-la-investigacion-social.pdf>

Alavedra et al. (2013) *Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013*. Redalyc [en

Línea]. Mayo – julio 2016. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2021].

Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337450992001.pdf>

(Sampieri et al. 2014) *METODOLOGÍA de la investigación*. Editorial Mc graw Hill Education, 2014. 634 pp.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de historial de fallas de las maquinarias pesadas


Tabla 1. Formato de historial de fallas de las maquinarias pesadas de línea amarilla de la empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L.

	HISTORIAL DE FALLAS				FECHA: Enero – Mayo 2021
	MÁQUINA		MODELO		
	MARCA		AÑO		
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1				900
	2				
	3				
	4				
FEBRERO	1				
	2				
	3				
	4				
MARZO	1				
	2				
	3				
	4				
ABRIL	1				
	2				
	3				
	4				
MAYO	1				
	2				
	3				
	4				

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 2. Historial de fallas de las maquinarias pesadas de línea amarilla

Tabla 2. Historial de fallas de Cargador Frontal Cat - 950H (2012)

	HISTORIAL DE FALLAS				FECHA: Enero – Mayo 2021
	MAQUINA		MODELO		
	MARCA		AÑO		
Mes	Semana	Sistema	Nº Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1		0		900
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	
		Estructural	1	Rajadura de Cucharón	
	3	Motor	1	Fuga de aceite por Sello de Motor	
Motor		1	Limpieza de Inyectores de Combustible		
4	Hidráulico	1	Reparación Bomba Hidráulica por Falla de Presión.		
FEBRERO	1	Motor	1	Bomba de aceite obstruido	
		Motor	1	Cambio de aceite	
	2	Motor	1	Fuga de aceite por Sello de Motor	
	3	Eléctrico	1	Cambio de Bendix y Solenoide de arrancador	
		Estructural	1	Desgaste de pines	
	4		0		
MARZO	1	Motor	1	Falla en turbo, se encontró aceite y se tuvo que reparar	
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	
		Enfriamiento	1	Falla en Termostato	
		Motor	1	Recalentamiento	
		Motor	1	Cambio de Empaque	

	3	Enfriamiento	1	Sondeo de Radiador
		Enfriamiento	1	Cambio de Conjunto de bomba de agua
	4	Motor	1	Cambio de aceite
		Eléctrico	1	Deterioro de la chapa de cortar corriente
ABRIL	1	Eléctrico	1	Relay deteriorado de Luces
		Motor	1	Cambio de Filtro de aire
	2	Suspensión	1	Cambio de Filtro Transmisor
	3	Neumático	1	Falla Electroválvula del Breque
		Estructural	1	Desgaste de pines
	4	Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica
MAYO	1	Traslación	1	Crucetas de cardan desbocadas
	2	Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica
	3	Eléctrico	1	Batería Descargada
	4	Eléctrico	1	Cambio de faja de alternador
		Eléctrico	1	Cambio de carbones de alternador
		Motor	1	Cambio de aceite

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Historial de fallas de la Retroexcavadora Cat – 420f (2010)

	HISTORIAL DE FALLAS				FECHA: Enero – Mayo 2021
	MAQUINA		MODELO		
	MARCA		AÑO		
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1		0		900
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	
		Estructural	1	Uniones Corroídas	
	3	Motor	1	Fuga de aceite por Sello de Motor	
		Motor	1	Alto consumo de Combustible	
	4	Motor	1	Limpieza de inyectores	
Hidráulico		1	Falla en válvula de alivio		
FEBRERO	1	Hidráulico	1	Fuga de aceite de los cilindros hidráulicos	
		Hidráulico	1	Cavitación en bomba hidráulica, por restricción de la admisión	
		Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	
		Electrónico	1	Mal calibración de la Computadora	
	3	Lubricación	1	Cambio de aceite	
	4	Lubricación	1	Lubricante con alta temperatura	
	Frenos	1	Atascamiento en válvula de breque		
MARZO	1	Transmisión	1	Crucetas dañadas	
		Transmisión	1	Falla en tazas de cardan	
	2	Eléctrico	1	Falla en el arranque	
		Eléctrico	1	Bornes y cables de Batería dañados	
		Eléctrico	1	Fusibles Quemados	
	3	Eléctrico	1	Ruptura en faja de alternador	
	Eléctrico	1	Cambio de colector de alternador		

	4		0		
ABRIL	1	Eléctrico	1	Relay deteriorado de Luces	
		Hidráulico	1	Sonidos extraños en los tensionadores de las fajas (Cambio de rodajes)	
	2	Hidráulico	1	Pérdida de presión en bomba hidráulica	
		Motor		Falla en turbo	
	3	Enfriamiento	1	Radiador obstruido	
		Enfriamiento	1	Cambio de termostato	
4	Hidráulico	1	Desgaste en baquelitas de la extensible del brazo excavador		
MAYO	1	Transmisión	1	Fuga de aceite por diferencial	
	2	Motor	1	Cambio de aceite	
		Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	
	3	Hidráulico	1	Pérdida de aceite hidráulico	
	4	Eléctrico	1	Conductores eléctricos en mal estado	
		Estructural	1	Desgaste de pines	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4. Historial de fallas de la Retroexcavadora Cat – 420f2 (2019)

	HISTORIAL DE FALLAS				
	MAQUINA		MODELO		FECHA:
	MARCA		AÑO		Enero – Mayo 2021
Mes	Semana	Sistema	Nº Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1		0		900
	2		0		
	3		0		
	4		0		
FEBRERO	1	Motor	1	Cambio de aceite	
		Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	
	2	Eléctrico	1	Cambio de faja de alternador	
	3		0		
	4	Lubricación	1	Corrosión de las válvulas del visor de aceite	
MARZO	1		0		
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	
		Eléctrico	1	Falla del sensor de transmisión	
	3	Neumático	1	Válvula de aire obstruida	
4		0			
ABRIL	1		0		
	2		0		
	3		0		
	4		0		
MAYO	1	Enfriamiento	1	Atascamiento en la entrada del filtro	
		Enfriamiento	1	Cambio de filtros	
		Motor	1	Cambio de aceite	
	2		0		
	3		0		
4	Eléctrico			Falla en alternador	

Tabla 5. Historial de fallas de la Retroexcavadora Cat – 420f2 (2020)

	HISTORIAL DE FALLAS				FECHA: Enero – Mayo 2021
	MÁQUINA		MODELO		
	MARCA		AÑO		
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1		0		900
	2		0		
	3		0		
	4		0		
FEBRERO	1		0		
	2	Motor	1	Cambio de aceite	
	3		0		
	4	Lubricación	1	Taponamiento del visor de aceite	
MARZO	1		0		
	2		0		
	3	Enfriamiento	1	Atascamiento en la entrada del filtro de aire	
	4		0		
ABRIL	1	Hidráulico	1	Ruido anormal en bomba hidráulica	
	2	Hidráulico	1	Fisura en brazo hidráulico	
	3		0		
	4		1	Atascamiento de válvula de breque	
MAYO	1		0		
	2	Motor	1	Cambio de aceite	
	3	Hidráulico	1	Fisura en manguera hidráulica	
	4		0		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6. Historial de fallas de Minicargador Cat – 242B (2008)

	HISTORIAL DE FALLAS				FECHA: Enero – Mayo 2021
	MAQUINA		MODELO		
	MARCA		AÑO		
Mes	Semana	Sistema	Nº Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1	Neumático	1	Fallo del joystick de levante y apertura del cucharón	900
		Estructural	1	Desgaste de pines	
	2	Combustible	1	Obstrucción del filtro de combustible	
		Combustible	1	Tanque de combustible con impurezas	
	3		0		
4	Motor	1	Fuga de aceite por sello de motor		
FEBRERO	1	Frenos	1	Falla en válvula de breque	
		Eléctrico	1	Batería descargada	
	2	Combustible	1	Falla de la pila de cortar corriente	
	3	Motor	1	Cambio de aceite	
4	Motor	1	Cambio de empaque de tapa de motor		
MARZO	1	Hidráulico	1	Falta de presión en bomba hidráulica	
		Hidráulico	1	Rajadura de mangueras hidráulicas	
	2	Hidráulico	1	Desgaste de sellos hidráulicos	
		Hidráulico	1	Falla en la bomba de dirección y traslación	
	3	Eléctrico	1	Cambio de carbones del alternador	
4	Eléctrico	1	Reemplazo de bendix y solenoide de arrancador		
ABRIL	1	Estructural	1	Desgaste de pines	
		Estructural	1	Rajadura de cucharón	
	2	Neumático	1	Válvulas de joystick de dirección dañado	
		Lubricante	1	Cambio de filtro transmisor	

	3	Motor	1	Fajas desgastadas
		Combustible	1	Inyectores de combustibles desbocados
	4	Eléctrico	1	Fusibles quemados
MAYO	1	Eléctrico	1	Fallas del claxon
	2	Eléctrico	1	Luces neblineros no encienden
		Mecánico	1	Cable de acelerador endurecido
	3	Enfriamiento	1	Radiador obstruido
	4	Enfriamiento	1	Cambio de termostato
		Enfriamiento	1	Cambo de rodaje de bomba de agua

Fuente: Elaboración Propia.


Tabla 7. Historial de fallas de Minicargador Cat – 242B (2008)

	HISTORIAL DE FALLAS				FECHA: Enero – Mayo 2021
	MAQUINA		MODELO		
	MARCA		AÑO		
Mes	Semana	Sistema	Nº Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1	Neumático	1	Fallo del joystick de levante y apertura del cucharón	900
	2	Combustible	1	Obstrucción del filtro de combustible	
		Combustible	1	Tanque de combustible con impurezas	
	3		0		
4	Motor	1	Fuga de aceite por sello de motor		
FEBRERO	1	Frenos	1	Falla en válvula de breque	
	2	Combustible	1	Falla de la pila de cortar corriente	
	3	Motor	1	Cambio de aceite	
	4	Motor	1	Cambio de empaque de tapa de motor	

MARZO	1	Hidráulico	1	Falta de presión en bomba hidráulica
		Hidráulico	1	Rajadura de mangueras hidráulicas
	2	Hidráulico	1	Desgaste de sellos hidráulicos
		Hidráulico	1	Falla en la bomba de dirección y traslación
	3	Eléctrico	1	Cambio de carbones del alternador
4	Eléctrico	1	Reemplazo de bendix y solenoide de arrancador	
ABRIL	1	Estructural	1	Desgaste de pines
		Estructural	1	Rajadura de cucharón
	2	Neumático	1	Válvulas de joystick de dirección dañado
		Lubricante	1	Cambio de filtro transmisor
	3	Motor	1	Fajas desgastadas
		Combustible	1	Inyectores de combustibles desbocados
4	Eléctrico	1	Fusibles quemados	
MAYO	1	Eléctrico	1	Fallas del claxon
	2	Eléctrico	1	Luces neblineros no encienden
		Mecánico	1	Cable de acelerador endurecido
	3	Enfriamiento	1	Radiador obstruido
	4	Enfriamiento	1	Cambio de termostato
Enfriamiento		1	Cambo de rodaje de bomba de agua	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Historial de fallas de Minicargador Cat – 242B3 (2020)

	HISTORIAL DE FALLAS				
	MAQUINA	Minicargador	MODELO	242B3	FECHA:
	MARCA	Caterpillar	AÑO	2020	Enero – Mayo 2021
Mes	Semana	Sistema	Nº Fallas	Descripción de la falla	Horas Totales
ENERO	1		0		900
	2		0		
	3		0		
	4		0		
FEBRERO	1		0		
	2		0		
	3		0		
	4	Electrónico	1	Falla en sensor de cigüeñal	
MARZO	1		0		
	2		0		
	3	Traslación	1	Sonido extraño en bomba de traslación	
	4		0		
ABRIL	1		1		
	2		0		
	3	Electrónico	0	Falla en el sensor de temperatura	
	4		0		
MAYO	1		0		
	2	Traslación	0	Bloqueo de marchas	
	3		0		
	4		0		

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 3. Formato de historial de fallas y horas de reparación de las maquinarias pesadas


Tabla 9. Historial de fallas y horas de reparación de las maquinarias pesadas de línea amarilla de la empresa JCC Ingenieros Contratistas E.I.R.L

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021
	MAQUINA		MODELO			
	MARCA		AÑO			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales
ENERO	1					900
	2					
	3					
	4					
FEBRERO	1					
	2					
	3					
	4					
MARZO	1					
	2					
	3					
	4					
ABRIL	1					
	2					
	3					
	4					
MAYO	1					
	2					
	3					
	4					

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 4. Formato de historial de fallas y horas de reparación de las maquinarias pesadas


Tabla 10. Historial de fallas y horas de reparación de Cargador Frontal Cat - 950H (2012)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021
	MÁQUINA	<i>Cargador Frontal</i>	MODELO	<i>950h</i>		
	MARCA	<i>Caterpillar</i>	AÑO	<i>2012</i>		
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales
ENERO	1		0			900
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	2	
		Estructural	1	Rajadura de Cucharón	2	
	3	Motor	1	Fuga de aceite por Sello de Motor	4	
		Motor	1	Limpieza de Inyectores de Combustible	4	
4	Hidráulico	1	Reparación Bomba Hidráulica por Falla de Presión.	8		
FEBRERO	1	Motor	1	Bomba de aceite obstruido	41	
		Motor	1	Cambio de aceite	2	
	2	Motor	1	Fuga de aceite por Sello de Motor	4	
	3	Eléctrico	1	Cambio de Bendix y Solenoide de arrancador	36	
		Estructural	1	Desgaste de pines	2	
4		0				
MARZO	1	Motor	1	Falla en turbo, se encontró aceite y se tuvo que reparar	40	
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	2	
		Enfriamiento	1	Falla en Termostato	8	
		Motor	1	Recalentamiento de motor	8	
	3	Motor	1	Cambio de Empaque	4	
		Enfriamiento	1	Sondeo de Radiador	10	
	Enfriamiento	1	Cambio de Conjunto de bomba de agua	16		

	4	Motor	1	Cambio de aceite	2	
		Eléctrico	1	Deterioro de la chapa de cortar corriente	5	
ABRIL	1	Eléctrico	1	Relay deteriorado de Luces	2	
		Motor	1	Cambio de Filtro de aire	2	
	2	Suspensión	1	Cambio de Filtro Transmisor	3	
	3	Neumático	1	Falla Electroválvula del Breque	13	
		Estructural	1	Desgaste de pines	2	
	4	Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	3	
MAYO	1	Traslación	1	Crucetas de cardan desbocadas	12	
	2	Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	2	
	3	Eléctrico	1	Batería Descargada	1	
	4	Eléctrico	1	Cambio de faja de alternador	1	
		Eléctrico	1	Cambio de carbones de alternador	2	
		Motor	1	Cambio de aceite	2	
TOTAL			31		245 Horas	900 Horas

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11. Historial de fallas y horas de reparación de la Retroexcavadora Cat – 420f (2010)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021	
	MAQUINA	<i>Retroexcavadora</i>	MODELO	<i>420f</i>			
	MARCA	<i>Caterpillar</i>	AÑO	<i>2010</i>			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de Reparación	Horas Totales	
ENERO	1		0			900	
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	2		
		Estructural	1	Uniones Corroidas	1		
	3	Motor	1	Fuga de aceite por Sello de Motor	2		
		Motor	1	Alto consumo de Combustible	2		
	4	Motor	1	Limpieza de inyectores	16		
Hidráulico		1	Falla en válvula de alivio	8			
FEBRERO	1	Hidráulico	1	Fuga de aceite de los cilindros hidráulicos	8		
		Hidráulico	1	Cavitación en bomba hidráulica, por restricción de la admisión	32		
		Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	4		
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	2		
		Electrónico	1	Mal calibración de la Computadora	12		
	3	Lubricación	1	Cambio de aceite	2		
	4	Lubricación	1	Lubricante con alta temperatura	8		
	Frenos	1	Atascamiento en válvula de breque	10			
MARZO	1	Transmisión	1	Crucetas dañadas	16		
		Transmisión	1	Falla en tazas de cardan	12		
	2	Eléctrico	1	Falla en el arranque	8		
		Eléctrico	1	Bornes y cables de Batería dañados	4		
		Eléctrico	1	Fusibles Quemados	8		
	Eléctrico	1	Ruptura en faja de alternador	4			

	3	Eléctrico	1	Cambio de colector de alternador	8	
	4		0			
ABRIL	1	Eléctrico	1	Relay deteriorado de Luces	2	
		Hidráulico	1	Sonidos extraños en los tensionadores de las fajas (Cambio de rodajes)	8	
	2	Hidráulico	1	Pérdida de presión en bomba hidráulica	16	
		Motor	1	Falla en turbo	16	
	3	Enfriamiento	1	Radiador obstruido	6	
		Enfriamiento	1	Cambio de termostato	2	
	4	Hidráulico	1	Desgaste en baquelitas de la extensible del brazo excavador	4	
MAYO	1	Transmisión	1	Fuga de aceite por diferencial	6	
	2	Motor	1	Cambio de aceite	2	
		Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	4	
	3	Hidráulico	1	Pérdida de aceite hidráulico	12	
	4	Eléctrico	1	Conductores eléctricos en mal estado	4	
		Estructural	1	Desgaste de pines	2	
TOTAL			34		253 Horas	900 Horas


Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12. Historial de fallas y horas de reparación de la Retroexcavadora Cat – 420f2 (2019)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021	
	MAQUINA	Retroexcavadora	MODELO	420f2			
	MARCA	Caterpillar	AÑO	2019			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales	
ENERO	1		0			900	
	2		0				
	3		0				
	4		0				
FEBRERO	1	Motor	1	Cambio de aceite	2		
		Hidráulico	1	Fisura en Manguera Hidráulica	4		
	2	Eléctrico	1	Cambio de faja de alternador	4		
	3		0				
	4	Lubricación	1	Corrosión de las válvulas del visor de aceite	27		
MARZO	1		0				
	2	Estructural	1	Desgaste de pines	2		
		Eléctrico	1	Falla del sensor de transmisión	16		
	3	Neumático	1	Válvula de aire obstruida	7		
4		0					
ABRIL	1		0				
	2		0				
	3		0				
	4		0				
MAYO	1	Enfriamiento	1	Atascamiento en la entrada del filtro	24		
		Enfriamiento	1	Cambio de filtros	4		
		Motor	1	Cambio de aceite	2		
	2		0				
	3		0				
4	Eléctrico	1	Falla en alternador	6			
TOTAL			11		98 Horas	900 Horas	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13. Historial de fallas y horas de reparación de la Retroexcavadora Cat – 420f2 (2020)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021	
	MAQUINA	<i>Retroexcavadora</i>	MODELO	<i>420f2</i>			
	MARCA	<i>Caterpillar</i>	AÑO	<i>2020</i>			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales	
ENERO	1		0			900	
	2		0				
	3		0				
	4		0				
FEBRERO	1		0				
	2	Motor	1	Cambio de aceite	2		
	3		0				
	4	Lubricación	1	Taponamiento del visor de aceite	19		
MARZO	1		0				
	2		0				
	3	Enfriamiento	1	Atascamiento en la entrada del filtro de aire	24		
	4		0				
ABRIL	1	Hidráulico	1	Ruido anormal en bomba hidráulica	14		
	2	Hidráulico	1	Fisura en brazo hidráulico	6		
	3		0				
	4		1	Atascamiento de válvula de breque	10		
MAYO	1		0				
	2	Motor	1	Cambio de aceite	2		
	3	Hidráulico	1	Fisura en manguera hidráulica	5		
	4		0				
TOTAL			8		82 Horas	900 Horas	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14. Historial de fallas y horas de reparación de Minicargador Cat – 242B (2008)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021	
	MAQUINA	Minicargador	MODELO	242B			
	MARCA	Caterpillar	AÑO	2008			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales	
ENERO	1	Neumático	1	Fallo del joystick de levante y apertura del cucharón	8	900	
		Estructural	1	Desgaste de pines	2		
	2	Combustible	1	Obstrucción del filtro de combustible	8		
		Combustible	1	Tanque de combustible con impurezas	10		
	3		0				
4	Motor	1	Fuga de aceite por sello de motor	4			
FEBRERO	1	Frenos	1	Falla en válvula de breque	4		
		Eléctrico	1	Batería descargada	6		
	2	Combustible	1	Falla de la pila de cortar corriente	12		
	3	Motor	1	Cambio de aceite	2		
4	Motor	1	Cambio de empaque de tapa de motor	7			
MARZO	1	Hidráulico	1	Falta de presión en bomba hidráulica	24		
		Hidráulico	1	Rajadura de mangueras hidráulicas	4		
	2	Hidráulico	1	Desgaste de sellos hidráulicos	4		
		Hidráulico	1	Falla en la bomba de dirección y traslación	8		
	3	Eléctrico	1	Cambio de carbones del alternador	5		
4	Eléctrico	1	Reemplazo de bendix y solenoide de arrancador	8			
ABRIL	1	Estructural	1	Desgaste de pines	2		
		Estructural	1	Rajadura de cucharón	8		
	2	Neumático	1	Válvulas de joystick de dirección dañado	8		
		Lubricante	1	Cambio de filtro transmisor	2		

	3	Motor	1	Fajas desgastadas	2	
		Combustible	1	Inyectores de combustibles desbocados	35	
	4	Eléctrico	1	Fusibles quemados	4	
MAYO	1	Eléctrico	1	Fallas del claxon	5	
	2	Eléctrico	1	Luces neblineros no encienden	6	
		Mecánico	1	Cable de acelerador endurecido	3	
	3	Enfriamiento	1	Radiador obstruido	12	
	4	Enfriamiento	1	Cambio de termostato	8	
Enfriamiento		1	Cambo de rodaje de bomba de agua	24		
TOTAL			29		235 Horas	

Fuente: Elaboración Propia.


Tabla 15. Historial de fallas y horas de reparación del Minicargador Cat – 242B (2008)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021	
	MAQUINA	<i>Minicargador</i>	MODELO	<i>242B</i>			
	MARCA	<i>Caterpillar</i>	AÑO	<i>2008</i>			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales	
ENERO	1	Neumático	1	Fallo del joystick de levante y apertura del cucharón	8	900	
	2	Combustible	1	Obstrucción del filtro de combustible	8		
		Combustible	1	Tanque de combustible con impurezas	10		
	3		0				
4	Motor	1	Fuga de aceite por sello de motor	4			
FEBRERO	1	Frenos	1	Falla en válvula de breque	4		
	2	Combustible	1	Falla de la pila de cortar corriente	12		
	3	Motor	1	Cambio de aceite	2		
	4	Motor	1	Cambio de empaque de tapa de motor	7		
MARZO	1	Hidráulico	1	Falta de presión en bomba hidráulica	24		
		Hidráulico	1	Rajadura de mangueras hidráulicas	4		
	2	Hidráulico	1	Desgaste de sellos hidráulicos	4		
		Hidráulico	1	Falla en la bomba de dirección y traslación	8		
	3	Eléctrico	1	Cambio de carbones del alternador	5		
	4	Eléctrico	1	Reemplazo de bendix y solenoide de arrancador	8		
ABRIL	1	Estructural	1	Desgaste de pines	2		
		Estructural	1	Rajadura de cucharón	8		
	2	Neumático	1	Válvulas de joystick de dirección dañado	8		
		Lubricante	1	Cambio de filtro transmisor	2		
	3	Motor	1	Fajas desgastadas	2		
		Combustible	1	Inyectores de combustibles desbocados	35		

	4	Eléctrico	1	Fusibles quemados	4	
MAYO	1	Eléctrico	1	Fallas del claxon	5	
	2	Eléctrico	1	Luces neblineros no encienden	6	
		Mecánico	1	Cable de acelerador endurecido	3	
	3	Enfriamiento	1	Radiador obstruido	12	
	4	Enfriamiento	1	Cambio de termostato	8	
Enfriamiento		1	Cambo de rodaje de bomba de agua	19		
TOTAL			27		222 Horas	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16. Historial de fallas y horas de reparación del Minicargador Cat – 242B3 (2020)

	HISTORIAL DE FALLAS					FECHA: Enero – Mayo 2021	
	MAQUINA	<i>Minicargador</i>	MODELO	<i>242B3</i>			
	MARCA	<i>Caterpillar</i>	AÑO	<i>2020</i>			
Mes	Semana	Sistema	N° Fallas	Descripción de la falla	Horas de reparación	Horas Totales	
ENERO	1		0			900	
	2		0				
	3		0				
	4		0				
FEBRERO	1		0				
	2		0				
	3		0				
	4	Electrónico	1	Falla en sensor de cigüeñal	10		
MARZO	1		0				
	2		0				
	3	Traslación	1	Sonido extraño en bomba de traslación	12		
	4		0				
ABRIL	1		1				
	2		0				
	3	Electrónico	0	Falla en el sensor de temperatura	10		
	4		0				
MAYO	1		0				
	2	Traslación	0	Bloqueo de marchas	20		
	3		0				
	4		0				
TOTAL			4		52 Horas	900 Horas	

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 5. Formato de Encuesta para análisis de Criticidad

Tabla 17. Encuesta de análisis de criticidad

EMPRESA JCC INGENIEROS CONTRATISTAS E.I.R.L.			
Asunto	Realizar Análisis de Criticidad		
Fecha	15 / 10 / 2021		
1.DATOS GENERALES			
Nombres y Apellidos:		Cargo:	
Edad:		Departamento:	
2. INTRODUCCIÓN			
<i>La presente encuesta va dirigido para el área encargada del mantenimiento con el objeto de verificar datos que son de importancia para poder realizar un análisis de criticidad de la manera más veraz posible.</i>			
1. ¿Qué montos considera usted que son altos o bajos de acuerdo al presupuesto que maneja la empresa?			
2. ¿Cuánto es el número de fallas que usted considera que debe presentar en un lapso de 5 meses?			
3. ¿Cuentan con un porcentaje de dinero establecido para llevar a cabo actividades de mantenimiento?			
4. ¿Qué maquinaria fue la que presentó mayor costo de reparaciones por mantenimientos correctivos en los últimos 5 meses?			
5. ¿Tiene idea del costo económico que ha dejado de percibir por maquinaria parada?			

Anexo 6. Análisis de criticidad de las maquinarias pesadas

Tabla 19. Criterios para calificación de criticidad.

Frecuencia de Fallas (F)	
Elevado mayor a 30 fallas/ 500 Horas	4
Promedio 15 - 30 fallas/ 500 Horas	3
Buena 10 - 15 fallas/ 500 Horas	2
Excelente menos de 10 fallas/ 500 Horas	1
Impacto operacional (IO)	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1
Flexibilidad Operacional (FO)	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1
Costos de mantenimiento (CM)	
Mayor o igual a US\$ 4000 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 4000 (incluye repuestos)	1
Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene (Impacto SAH)	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5

Cuasi accidente o incidente menor	2-3
Desvió	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Da Costa (2010)

Tabla 20. Matriz de criticidad

4	8	40	72	104	136	168	200	FRECUENCIA
3	6	30	54	78	102	126	150	
2	4	20	36	52	68	84	100	
1	2	10	18	26	34	42	50	
Consecuencia	2	10	18	26	34	42	50	Criticidad = F X C

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7. Análisis de modo y efectos de Falla del Cargador Frontal Cat 950H (2012)

Tabla 21. AMEF del Cargador Frontal Cat 950H (2012)

Maquinaria	Sistema	Función	Falla funcional	Modos de falla	Efectos de falla
CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 950H – 2010	Sistema Estructural	<i>Conjunto de elementos resistentes que vinculados entre sí transmiten las cargas de la edificación a los apoyos garantizando el equilibrio, la estabilidad y sin sufrir deformaciones incompatibles.</i>	Desgaste de Pines	Ruptura de pines	Descarrilamiento de las articulaciones.
			Rajadura del cucharón	Mala operación	Deformación del cucharón
	Sistema motor	<i>Obtener energía mecánica a través de la energía química (combustible), y generar potencia para producir trabajo.</i>	Fuga de aceite por sello de motor	Tiempo de operación	Consumo excesivo de aceite
			Limpieza de inyectores de combustible.	Filtro de combustible / ausencia de limpieza en tanque de combustible	Maquinaria no enciende / consumo excesivo de combustible
			Bomba de aceite obstruido	Calidad del aceite / Fuga de aceite / Tiempo de operación	Maquinaria inoperable.
			Sonido anormal en Turbo, se encontró con aceite y se tuvo que Reparar.	Falta de compresión en los cilindros	Ruidoso / pérdida de potencia.
			Recalentamiento motor	Radiador obstruido / Termostato pegado / bomba de agua no funciona / Ventilador no funciona / Rajadura en culata.	Reparación motor.
			Cambio de empaque	Recalentamiento de motor.	Mezcla de aceite con el agua.
			Cambio de aceite pm2		
	Cambio de filtro de aire	Inadecuada limpieza del filtro.	Ahogamiento del motor por falta de aire en la cámara de combustión.		
	Sistema hidráulico	<i>Utilizan la energía hidráulica a través de una</i>	Reparación de bomba hidráulica por falla de presión	Suciedad en el aceite hidráulico / Calidad del aceite / fuga de aceite/contrapresiones / Recalentamiento.	Pérdida de potencia en el sistema hidráulico.
			Fisura en manguera hidráulica	Tiempo de vida / Calidad del material / Mala operación / Fricción entre ellas.	Contaminación ambiental / Rellenar aceite

CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 950H - 2010		<i>bomba para transformarla en energía mecánica.</i>			hidráulico/ Pérdida de potencia en el sistema hidráulico
	Sistema eléctrico	<i>Es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo.</i>	Cambio de Solenoide y Bendix arrancador	Carbones desgastados / Recalentamiento del estator / Terminales no ajustados al torque necesario / Cables de corriente en mal estado / Fusibles deteriorados.	Maquinaria no enciende.
			Deterioro de la chapa de cortar corriente	Terminales sulfatados.	Falta de energía eléctrica en la maquinaria
			Relay deteriorado de luces	Batería emita voltajes erróneos / Calidad del material.	Algunas funciones eléctricas no trabajan.
			Batería no carga bien	Alternador cruzado / Bornes sulfatados / Falta de ácido o agua de batería / Placas dañadas.	No energiza maquinaria.
			Cambio de faja de alternador	Tiempo de operación / Resequedad del material/Mal tensionamiento de la faja	Alternador no carga
			Cambio de carbones de alternador	Tiempo de operación / Recalentamiento/Colector pandeado.	Alternador no carga
	Sistema de enfriamiento	<i>Llevar la temperatura adecuada al motor para que trabaje a óptimas condiciones.</i>	Termostato pegado	Tiempo de operación / Grado de temperatura no es el indicado/Calidad del material.	Recalentamiento del motor / Reparación de motor
			Sondeo de Radiador	Deterioro del radiador / Refrigerante no es el adecuado/mangueras obstruidas.	Recalentamiento del motor / Reparación de motor
			Cambio de conjunto de bomba de agua	Mangueras con mala instalación / Mal alineamiento de la faja de bomba de agua/Rodajes en mal estado.	No bombea agua para enfriar motor y posteriormente recalentamiento del mismo.
	Sistema de transmisión	<i>Se encarga de transmitir la potencia del motor y distribuir hasta la caja de cambios y diferencial.</i>	Cambio de filtro transmisor	Condiciones del aceite	Daño de los ejes de transmisión.
			Crucetas desbocadas de cardan	Mala operación / falta de lubricación / Desalineamiento del cardan / tiempo de vida.	Descarrilamiento del cardan / maquinaria no avanza.
	Sistema de frenos	<i>Usan la fricción para detener la maquinaria</i>	Falla electroválvula breque	Tiempo de vida útil / Mala conexión	Problemas con el Parqueo / No frenos.

Anexo 8. Determinación del Número Prioritario de Riesgos (NPR)

Tabla 22. *Rango de Gravedad*

GRAVEDAD	
Descripción	Puntaje
Imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

Fuente: (Améndola, 2012)

Tabla 23. *Rango de Ocurrencia*

OCURRENCIA	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

Fuente: (Améndola, 2012)

Tabla 24. *Rango de Detección*

DETECCIÓN	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: (Améndola, 2012)

Tabla 25. Características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo)

NRP	FALLAS
$NPR > 200$	Fallas Inaceptables (I)
$125 < NPR \leq$	Fallas reducibles deseables (R)
$NPR \leq 125$	Fallas aceptables (A)

Fuente: (Améndola, 2012)

Anexo 9. Número Prioritario de Riesgos (NPR) del Cargador Frontal Cat 950H (2010)

Tabla 26. Análisis del Número Prioritario de Riesgo del Cargador Frontal

Ítem	Descripción de la falla	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR
1	Desgaste de Pines	8	10	7	560
2	Rajadura del cucharón	6	6	5	180
3	Fuga de aceite por sello de motor	6	10	6	360
4	Limpieza de inyectores de combustible.	8	7	10	560
5	Bomba de aceite obstruido	10	6	10	600
6	Reparación del turbo	10	4	10	400
7	Recalentamiento motor	10	5	10	500
8	Cambio de empaque	6	6	8	288
9	Cambio de filtro de aire	4	6	6	144
10	Reparación de bomba hidráulica por falla de presión	10	6	9	540
11	Fisura en manguera hidráulica	7	6	8	336
12	Cambio de Solenoide y Bendix arrancador	7	8	6	336
13	Deterioro de la chapa de cortar corriente	6	5	4	120
14	Relay deteriorado de luces	4	7	4	112
15	Batería no carga bien	5	6	4	120
16	Cambio de faja de alternador	8	6	7	336
17	Cambio de carbones de alternador	7	6	6	252
18	Termostato pegado	10	5	10	500
19	Sondeo de Radiador	9	7	10	630
20	Cambio de conjunto de bomba de agua	8	6	7	336
21	Cambio de filtro transmisor	5	6	3	180
22	Falla electroválvula breque	10	1	10	100
23	Crucetas desbocadas de cardan	8	7	8	448

Anexo 10. Análisis de modo y efectos de Falla de la Retroexcavadora Cat 420f (2012)

Tabla 27. AMEF de la Retroexcavadora Cat 420f (2010)

Maquinaria	Sistema	Función	Falla funcional	Modos de falla	Efectos de falla
Retroexcavadora Cat 420f (2010)	Sistema Estructural	Conjunto de elementos resistentes que vinculados entre sí transmiten las cargas de la edificación a los apoyos garantizando el equilibrio, la estabilidad y sin sufrir deformaciones incompatibles.	Desgaste de Pines	Ruptura de pines	Cambio de pines.
			Uniones Corroídas	Ambientes de trabajo	Dificultad para movimiento de articulaciones
	Sistema motor	Obtener energía mecánica a través de la energía química (combustible), y generar potencia para producir trabajo.	Fuga de aceite por sello de motor	Mala instalación/Calidad del material/Tiempo de vida.	Fuga de aceite/Consumo excesivo de aceite/Contaminación ambiental
			Alto consumo de combustible	Inyectores Desbocados / Cañería picada / Mala lectura de computadora.	Alto consumo de combustible / Bujías quemadas / Mezcla de combustión pobre
			Limpieza de inyectores	Tanque de combustible sucio / Filtro de combustible / Manguera obstruida.	Excesivo consumo de combustible / Ahogamiento en el motor por mezcla pobre / Maquinaria no enciende.
			Falla en turbo	Tiempo de vida / Calidad del aceite / Filtro de aire sucio / bomba de aceite no genera suficiente presión / entrada de objetos extraños al turbo	Consumo excesivo de aceite / Pérdida de potencia.
			Cambio de aceite	Impacto	Pérdida de aceite hidráulico.
	Sistema hidráulico	Utilizan la energía hidráulica a través de una bomba para transformarla en energía mecánica.	Falla de la válvula de alivio	Sellos en mal estado / Cilindro no uniforme	Pérdida de presión en las articulaciones.
			Fuga de aceite de los cilindros hidráulicos	Restricción en la admisión / Sensores corroídos / Falta de presión.	No genera presión al sistema.
			Cavitación en la bomba hidráulica	Resequedad del material / Mala Operación / Impacto / Calidad del material.	Pérdida del nivel de aceite hidráulico / Contaminación ambiental / Pérdida de presión en el sistema hidráulico
			Fisura de mangueras hidráulicas	Tiempo de vida / mala instalación / revoluciones precipitadas.	Ruptura de fajas / Paralizar algún subsistema.

Retroexcavadora Cat 420f (2010)			Sonidos extraños en los tensionadores de las fajas (cambio de rodajes)	Calidad del aceite / suciedad en el aceite hidráulico / Fuga de aceite / Filtro dañado / Contrapresiones.	Pérdida de presión en el sistema hidráulico / No mueve articulaciones.
			Pérdida de presión en la bomba hidráulica	Fuga de aceite hidráulico / Tiempo de vida / Cavitación / Aire en el sistema	No genera fluido hidráulico para generar movimiento mecánico.
			Desgastes de baquelitas de la extensible del brazo excavador	Fisura de manguera / Sello dañado.	Contaminación ambiental / Pérdida del nivel de aceite hidráulico
			Pérdida de aceite hidráulico	Sello dañado / Ruptura de manguera.	Contaminación ambiental / Pérdida de fluido.
	Sistema eléctrico	<i>Es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo.</i>	Mal calibración de computadora	Conector dañado o sulfatado.	Lecturas erróneas.
			Falla en el arranque	Cables resecos / Relay o fusibles deteriorados.	Máquina no enciende con facilidad
			Batería dañada	Bornes sulfatado / Placas deterioradas / Bajo nivel de ácido y agua de baterías / Carga baja / Alternador no envía correcto voltaje	No hay energía en la maquinaria.
			Fusibles quemados	Batería emite voltajes erróneos / Tiempo de vida / Corto circuito.	Algunas funciones eléctricas no trabajan.
			Ruptura de faja de alternador	Tiempo de vida / Torque excesivo / Calidad del material.	No emite carga para batería / maquinaria no enciende.
			Cambio del colector del alternador	Rodaje de alternador en mal estado.	Alternador no genera energía.
			Relay deteriorado de luces	Tiempo de vida	Algunas funciones eléctricas no trabajan.
	Sistema de Transmisión	<i>Se encarga de transmitir la potencia del motor y distribuir hasta la caja de cambios y diferencial.</i>	Conductores eléctricos en mal estado	Sobrecalentamiento / Calidad de material / amperajes excesivos.	Cortocircuito en el sistema.
			Cambio de aceite pm1		
			Lubricante de transmisión en alta temperatura	Calidad del aceite / Recalentamiento de caja de cambios o diferencial / nivel de lubricante.	Deterioro de piñones de caja o diferencial por falta de viscosidad de lubricantes.
			Atascamiento en Válvula del breque	Tiempo de vida útil / Mala conexión/	Problemas con el parqueo.
			Crucetas Rotas	Mala operación / falta de lubricación / Desalineamiento del cardan / tiempo de vida.	Descarrilamiento del cardan / Maquinaria no avanza.
			Tazas de Cardan	Tiempo de vida / Ambiente de trabajo	No genera potencia a la transmisión.
		Fuga de aceite por diferencial	Sello dañado / rajadura en funda de diferencial.	Reparación o cambio de diferencial	
		Radiador Obstruido	Refrigerante no es el adecuado / Mangueras obstruidas / Deterioro del radiador.	No enfría refrigerante / Recalentamiento del	

	Sistema de enfriamiento	<i>Llevar la temperatura adecuada al motor para que trabaje a óptimas condiciones.</i>			motor / Reparación de motor
Cambio de termostato			Grado de temperatura no es el indicado / calidad del material / Tiempo de vida	No permite la circulación de refrigerante para su enfriamiento / Recalentamiento del motor / Reparación de motor	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 11. Número Prioritario de Riesgos (NPR) de la Retroexcavadora Cat 420f (2010)

Tabla 28. Análisis del Número Prioritario de Riesgo de la Retroexcavadora Cat 420f (2010)

Ítem	Descripción de la falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
1	Desgaste de Pines	7	6	7	294
2	Uniones Corroídas	3	6	4	72
3	Fuga de aceite por sello de tapa motor	8	7	4	224
4	Alto consumo de combustible	8	6	7	336
5	Limpieza de inyectores de combustible.	9	4	7	252
6	Falla en el turbo	9	4	9	243
7	Cambio de aceite pm1	2	5	2	20
8	Falla de la válvula de alivio	7	7	5	225
9	Fuga de aceite de los cilindros hidráulicos	5	6	7	210
10	Cavitación en la bomba hidráulica	8	4	7	224
11	Fisura de mangueras hidráulicas	5	10	6	300
12	Sonidos extraños en los tensionadores de las fajas (cambio de rodajes)	8	5	6	240
13	Pérdida de presión en la bomba hidráulica	8	3	9	216
14	Desgastes de baquelitas de la extensible del brazo excavador	7	5	7	245
15	Pérdida de aceite hidráulico	5	4	7	140
16	Mal calibración de computadora	8	3	9	216
17	Falla en el arranque	8	4	7	224
18	Batería dañada	5	5	6	150
19	Fusibles quemados	4	2	3	24
20	Ruptura de faja de alternador	8	5	7	280
21	Cambio del colector del alternador	8	4	8	256
22	Relay deteriorado de luces	6	4	3	72

23	Conductores eléctricos en mal estado	6	5	3	180
24	Cambio de aceite pm1	2	4	3	24
25	Lubricante de transmisión en alta temperatura	7	4	8	224
26	Atascamiento en Válvula del breque	5	6	7	210
27	Crucetas Rotas	9	6	9	504
28	Tazas de Cardan	9	6	10	540
29	Fuga de aceite por diferencial	6	4	7	168
30	Radiador Obstruido	9	3	10	270
31	Cambio de termostato	9	3	10	270

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 12. Análisis de modo y efectos de Falla del Minicargador Cat 242B (2008)

Tabla 29. AMEF del Minicargador Cat 242B (2008)

Maquinaria	Sistema	Función	Falla funcional	Modos de falla	Efectos de falla
MINI CARGADOR CATERPILLAR 242B – 2008	Sistema Estructural	<i>Conjunto de elementos resistentes que vinculados entre sí transmiten las cargas de la edificación a los apoyos garantizando el equilibrio, la estabilidad y sin sufrir deformaciones incompatibles.</i>	Desgaste de pines	Ruptura de pines	Descarrilamiento de las articulaciones.
			Rajadura del cucharón	Mala operación	Deformación del cucharón
	Sistema motor	<i>Obtener energía mecánica a través de la energía química (combustible), y generar potencia para producir trabajo.</i>	Fuga de aceite por sello de tapa de motor	Tiempo de operación	Consumo excesivo de aceite
			Cambio de aceite PM1		
			Fajas desgastadas	Tiempo de operación	Ruidoso/ruptura de la faja
	Sistema hidráulico	<i>Utilizan la energía hidráulica a través de una bomba para transformarla en energía mecánica.</i>	Reparación de bomba hidráulica por falla de presión	Suciedad en el aceite hidráulico / Calidad del aceite/fuga de aceite / contrapresiones / Recalentamiento.	Pérdida de potencia en el sistema hidráulico.
			Mangueras hidráulicas Rajadas	Tiempo de vida / Calidad del material / Mala operación /Fricción entre ellas.	Contaminación ambiental / Rellenar aceite hidráulico / Pérdida de potencia en el sistema hidráulico
			Desgaste de sellos hidráulicos	Tiempo de operación	Fuga de aceite hidráulico
			Falla de la bomba de dirección y traslación	Tiempo de vida útil , mala operación	No se puede desplazar
			Fallo del joystick de levante y apretura del cucharón.	Mala operación	Mal funcionamiento de los hidráulicos
			Válvulas del joystick de dirección dañado	Mala operación	No permite activar el movimiento del minicargador

MINICARGADOR CATERPILLAR 242B – 2008	Sistema eléctrico	<i>Es el recorrido de la electricidad a través de un conductor, desde la fuente de energía hasta su lugar de consumo.</i>	Batería Descargada	Batería emita voltajes erróneos / Calidad del material.	Algunos funciones eléctricas no trabajan.
			Cambio carbones del arrancador	Tiempo de operación	No funciona el arrancador
			Cambio de bendix y solenoide	Falta de mantenimiento	No permite el encendido de la maquina
			Fusibles quemados	Alteración de la corriente	No energiza maquinaria.
			Fallas del claxon	Tiempo de operación	No emite sonido
			Luces neblinero no encienden	Tiempo de operación/ mala conexión	No activa la iluminación
	Sistema de enfriamiento	<i>Llevar la temperatura adecuada al motor para que trabaje a óptimas condiciones.</i>	Radiador obstruido	Deterioro del radiador/Refrigerante no es el adecuado/mangueras obstruidas.	Recalentamiento del motor/Reparación de motor
			Termostato pegado	Tiempo de operación / Grado de temperatura no es el indicado /Calidad del material.	Recalentamiento del motor/Reparación de motor
			Conjunto de bomba de agua	Mangueras con mala instalación / Mal alineamiento de la faja de bomba de agua / Rodajes en mal estado.	No bombea agua para enfriar motor y posteriormente recalentamiento del mismo.
	Sistema de traslación	<i>Se encarga de transmitir la potencia del motor y distribuir hasta la caja de cambios y diferencial.</i>	Falla de filtro transmisor	Condiciones del aceite	Daño de los ejes de transmisión.
Sistema de mecánico	<i>Generan movimientos mecánicos que se convierten en trabajo</i>	Cable de acelerado endurecido	Tiempo de operación	No permite revolucionar el motor	

Fuente: Elaboración Propia.

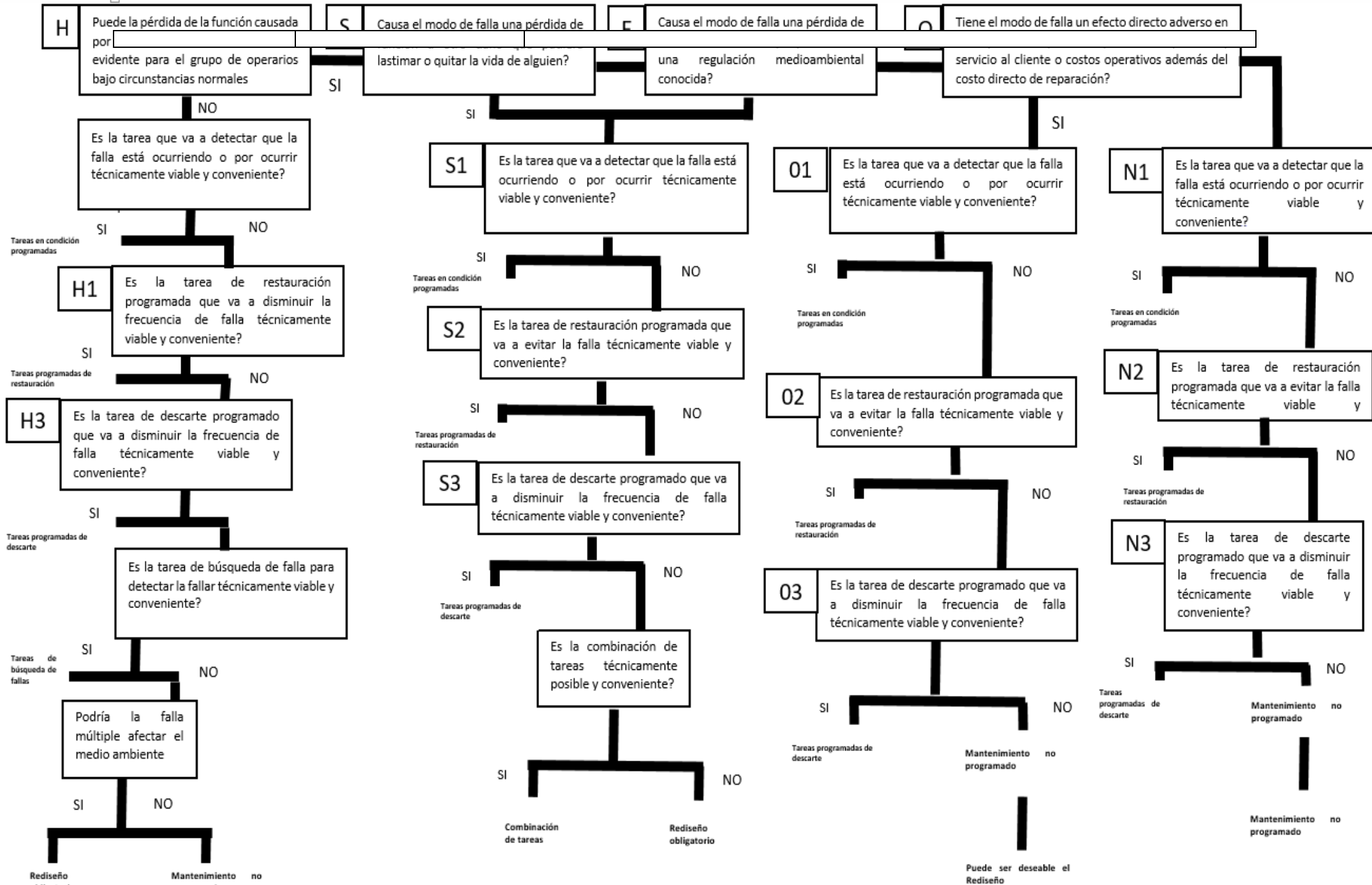
Anexo 13. Número Prioritario de Riesgos (NPR) del Minicargador Cat 242B (2008)

Tabla 30. Análisis del Número Prioritario de Riesgo del Minicargador Cat 242B (2008)

Item	Descripción de la falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
1	Desgaste de pines	8	8	7	448
2	Rajadura del cucharón	5	8	8	320
3	Fuga de aceite por sello de tapa de motor	4	7	5	140
4	Cambio de aceite PM1				
5	Fajas desgastadas	5	5	4	100
6	Reparación de bomba hidráulica por falta de presión	10	5	10	500
7	Fisura en mangueras hidráulicas	7	5	6	210
8	Desgaste de sellos hidráulicos	7	10	7	490
9	Falla de la bomba de dirección y traslación	10	5	10	500
10	Fallo del joystick de levante y apertura del cucharón	10	6	8	480
11	Válvulas del joystick de dirección dañado	10	7	8	560
12	Batería descargada	5	6	3	90
13	Cambio de carbones del alternador	7	6	7	294
14	Cambio de bendix y Solenoide	7	8	5	280
15	Fusibles dañados	5	6	5	150
16	Fallas en claxon	3	6	6	96
17	Luces neblinero no encienden	3	5	5	75
18	Radiador obstruido	10	7	7	490
19	Termostato pegado	10	6	5	300
20	Falla del filtro transmisor	10	5	7	350-
21	Cable de acelerador endurecido	5	5	6	150
		6	4	5	120

Fuente: Elaboración Propia.


Anexo 15. Árbol de Decisiones del RCM



Fuente: John Moubray (2004)

Anexo 16. Plan de mantenimiento Preventivo de Cargador Frontal Cat 950h (2012)

Tabla 32. Plan de mantenimiento Preventivo de Cargador Frontal Cat 950h (2012)

		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO								HORAS									
		Máquina	Cargador frontal		Modelo	950H													
		Marca	Caterpillar		Año	2012													
SISTEMA	Descripción de la tarea	Actividad de mantenimiento de acuerdo al árbol lógico de decisiones	Trabajo a realizar	Nº de M.P.	Duración de M.P. (Min)	Costo de M.P. (\$.)	Personal	Costo de M.O. (\$.)	Costo Total (\$.)	8	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	
MOTOR	Elemento primario del filtro de aire del motor	Tarea programada de Restauración	Limpieza	1	3 min	---	Operador	0.203	0.203	X									
	Elemento primario del filtro de aire del motor	Tarea programada de descarte	Reemplazo	1	15 min	S/.100	Mecánico	0.783	100.73			X		X		X		X	
	Elemento secundario del filtro de aire del motor	Tarea programada de descarte	Reemplazo	2	10 min	S/.120	Mecánico	0.52						X				X	
	Sistema de combustible	Tarea programada de Restauración	Limpieza de inyectores	1	240 min	S/.250	Mecánico	12.52	262.52				X						X
	Filtro primario del sistema de combustible (Separador de agua)	Tarea programada de descarte	Reemplazo	3	20 min	S/.100	Mecánico	1.04	303.12		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Filtro secundario del sistema de combustible	Tarea programada de descarte	Reemplazo	3	20min	S/.130.00	Mecánico	1.04	393.12		X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Filtro rejilla del respirador del cárter	Tarea programada de descarte	Inspección	1	10 min	S/.90.00	Mecánico	0.52	90.52			X		X		X		X	
	Colador del tanque de combustible	Tarea programada de descarte	Reemplazo	2	5 min	S/.50.00	Mecánico	0.26						X					X

M O T O R	Nivel del aceite del motor	Monitoreo a Condición	Inspección	1	3 min	---	Operador	0.203	0.203	X								
	Muestra de aceite del motor	Monitoreo a Condición	Análisis	3	90 min	S/.60	Mecánico	4.7	194.1		X	X	X	X	X	X	X	X
	Filtros de aceite	Tarea programada de descarte	Reemplazo	3	20 min	S/.110	Mecánico	1.04	3312		X	X	X	X	X	X	X	X
	Aceite de motor	Tarea programada de descarte	Cambio de aceite SAE 15W-40 (10.5 Gal)	3	60 min	S/225	Mecánico	3.13	684.39		X	X	X	X	X	X	X	X
	Núcleo del radiador	Monitoreo a Condición	Inspección	1	10 min	---	Operador	0.67	0.57		x							
	Nivel de refrigerante del sistema de enfriamiento	Monitoreo a Condición	Inspección	1	3 min	---	Operador	0.203	0.203	X								
	Caja de Termostatos	Tarea programada de descarte	Inspección	1	10 min	---	Mecánico	0.52	0.52			X		X		X		X
	Caja de Termostatos	Monitoreo a Condición	Cambio	1	20min	S/.150.00	Mecánico											X
	Radiador	Tarea programada de Restauración	Sondeo	1	20min	S/.200.00	Mecánico											X
	Juego de las válvulas del motor	Monitoreo a Condición	Comprobar Comprensión que esté sobre los valores de 300 PSI	1	15 min	---	Mecánico											X
	Conjunto de bomba de agua	Monitoreo a Condición	Inspección	1	180min	---	Mecánico	9.39	9.39				x					X
	Bomba de aceite	Monitoreo a Condición	Inspección	1	20min	---	Mecánico											X
	Turbo	Monitoreo a Condición	Inspección	1	10 min	---	Mecánico											X
	Lavar tanque de combustible	Tarea programada de Restauración	Limpieza	1	20min	---	Mecánico											X
H I	Filtro de aceite hidráulico	Tarea programada de descarte	Reemplazo	1	25 min	S/.100	Mecánico	1.3	101.3			X		X		X		X
	Nivel del aceite del sistema hidráulico	Monitoreo a Condición	Inspección	1	3 min	---	Operador	0.203	0.203	X								
	Muestra de aceite del sistema hidráulico	Monitoreo a Condición	Análisis	1	90 min	S/.60	Mecánico	4.7	94.7			X		X		X		X

ELECTRICO	Carbones de alternador	Tarea programada de descarte	Reemplazo	2	15 min	80	Electricista	0.78						X					X	
	Arrancador	Tarea programada de descarte	Mantenimiento	2	15 min	80	Electricista	0.78						X					X	
	Estado de limpiaparabrisas	Monitoreo a Condición	Inspección	1	2 min	---	Electricista	0.1	0.2	X										
	Alarma de retroceso	Monitoreo a Condición	Inspección	1	2 min	---	Operador	0.136	0.27	X										
	Sistema Eléctrico	Monitoreo a Condición	Inspección de Relay	1	30 min	50	Electricista	1.56	51.56			X		X			X		X	
	Fajas del ventilador, alternador	Monitoreo a Condición	Comprobar Tensiones	2	10 min	---	Mecánico	0.52							X					X
ESTRUCTURAL	Desgastes de plancha, Cuchillas y puntas de cucharón	Monitoreo a Condición	Inspección	1	3 min	---	Mecánico			X										
	Acople rápido de cucharón	Monitoreo a Condición	Lubricar	1	2 min	10	Mecánico	0.1	10.1	X										
	Cojinetes del pivote inferior del cucharón	Monitoreo a Condición	Lubricar	1	2 min	10	Mecánico	0.1	10.1	X										
	Filtro de aire de la cabina	Monitoreo a Condición	Limpieza	1	10 min	---	Operador	0.67	0.67		X									
	Filtro de aire de la cabina	Tarea programada de descarte	Reemplazo	2	3min	100	Mecánico	0.156	0.156						X					X
	Articulación del cucharón y cojinetes del cilindro cargador	Tarea programada de Restauración	Lubricación	1	3 min	8	Mecánico	0.156	0.156	X										
	Estructura de protección contra vuelcos (ROPS)	Monitoreo a Condición	Inspección	1	5 min	---	Mecánico	0.26	0.26	X										
FRENOS	Presión de los neumáticos	Monitoreo a Condición	Inspección de presión que tiene que estar en 80 PSI	1	5 min	---	Mecánico	0.26	0.26	X										
	Electroválvula de Breque	Monitoreo a Condición	Inspección	1	5 min	---	Mecánico	0.26	0.26	X										
	Sistema de frenos	Monitoreo a Condición	Inspección	1	5 min	---	Mecánico	0.78	0.78		X									
Personal		Costo de Horas Hombre (\$.)																		
Operador		4.06																		
Mecánico		3.13																		
Electricista		3.13																		

Fuente: Elaboración Propia

		encuentren en los 80 PSI.																
Personal		Costo de Horas Hombre (S/.)																
Operador		4.06																
Mecánico		3.13																
Electricista		3.13																

Fuente: Elaboración Propia

Personal	Costo de Horas Hombre (\$.)	
Operador	4.06	
Mecánico	3.13	
Electricista	3.13	

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 19. Costos Iniciales por Costos de Mantenimientos Correctivos

Tabla 35. Detalle de Costos Iniciales por Mantenimiento Correctivo de Cargador Frontal Cat 950h (2012)

ITEM	SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	Horas de Parada	Costo (USD \$.)
Cargador Frontal Cat 950h (2012)	ESTRUCTURAL	Desgaste de Pines	2	40
		Rajadura del cucharón	2	35
		Desgaste de pines	2	40
		Desgaste en Pines	2	40
		Desgaste de pines	2	40
	MOTOR	Fuga de aceite por sello de motor	4	30
		Limpieza de inyectores de combustible.	4	175
		Bomba de aceite obstruido	41	165
		Cambio de aceite pm1	2	255
		Fuga de aceite por sello de motor	4	25
		Sonido anormal en Turbo, se encontró con aceite y se tuvo que Reparar.	40	50
		Recalentamiento motor	8	40
		Cambio de empaque	4	25
Cambio de aceite pm2	2	300		

Cargador Frontal Cat 950h (2012)		Cambio de filtro de aire	2	15	
		Cambio de aceite pm1	2	255	
	HIDRÁULICO		Reparación de bomba hidráulica por falla de presión	8	250
			Manguera hidráulica rota	3	20
			Fisura en manguera hidráulica	2	10
	ELÉCTRICO		Cambio de Solenoide y Bendix arrancador	36	30
			Deterioro de la chapa de cortar corriente	5	15
			Relay deteriorado de luces	2	10
			Batería no carga bien	1	20
			Cambio de faja de alternador	1	30
			Cambio de carbones de alternador	2	20
	ENFRIAMIENTO		Termostato pegado	8	60
			Sondeo de Radiador	10	20
			Cambio de rodaje bomba de agua	16	50
	SUSPENSIÓN		Cambio de filtro transmisor	3	20
	NEUMÁTICO		Falla electroválvula breque	13	25
	TRASLACIÓN		Crucetas desbocadas de cardan	12	40
	TOTAL				USD \$. 2150.00

Tabla 36. Detalle de Costos Iniciales por Mantenimiento Correctivo de la Retroexcavadora Cat 420f (2010)

ITEM	SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	Horas de Parada	Costo (USD \$.)
Retroexcavadora Cat 420f (2010)	ESTRUCTURAL	Desgaste de Pines	2	40
		Uniones Corroídas	1	30
		Desgaste de pines	2	40
		Desgaste en Pines	2	40
	MOTOR	Fuga de aceite por sello de tapa motor	2	30
		Alto consumo de combustible	2	30
		Limpieza de inyectores de combustible.	16	150
		Falla en el turbo	16	150
		Cambio de aceite pm1	2	200
	HIDRÁULICO	Falla de la válvula de alivio	8	30
		Fuga de aceite de los cilindros hidráulicos	8	50
		Cavitación en la bomba hidráulica, por restricción en la admisión.	4	300
		Fisura de mangueras hidráulicas	32	30
		Sonidos extraños en los tensionadores de las fajas (cambio de rodajes)	8	40

		Pérdida de presión en la bomba hidráulica	16	85
		Desgastes de baquelitas de la extensible del brazo excavador	4	40
		Rotura de manguera hidráulica	4	25
		Pérdida de aceite hidráulico	12	20
	ELÉCTRICO	Mal calibración de computadora	12	60
		Falla en el arranque	8	70
		Bornes y cables de batería dañados	4	30
		Fusibles quemados	8	15
		Ruptura de faja de alternador	4	30
		Cambio del colector del alternador	8	30
		Relay deteriorado de luces	2	15
		Conductores eléctricos en mal estado	4	30
	LUBRICACIÓN	Cambio de aceite pm1	2	200
		Lubricante en alta temperatura	8	30
	FRENOS	Atascamiento en Válvula del breque	10	50
	TRANSMISIÓN	Crucetas Rotas	16	70
		Tazas de Cardan	12	20
		Fuga de aceite por diferencial	6	80
	ENFRIAMIENTO	Radiador Obstruido	6	30
		Cambio de termostato	2	160
TOTAL				USD \$ 2250.00

Tabla 37. Detalle de Costos Iniciales por Mantenimiento Correctivo del Minicargador Cat 242B (2008)

ITEM	SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	Horas de Parada	Costo (USD \$.)
Minicargador Cat 242B - 2008	NEUMÁTICO	Fallo del joystick de levante y apretura del cucharón.	8	50
		Válvulas del joystick de dirección dañado	8	50
	ESTRUCTURAL	Desgaste de pines	2	20
		Desgaste de pines	2	20
		Rajadura del cucharón	8	20
	COMBUSTIBLE	Obstrucción del filtro de combustible	8	25
		Tanque de combustible con fugas	10	35
		Falla de la pila del corte de combustible	12	30
		Inyectores de combustibles desbocados.	35	80
	MOTOR	Fuga de aceite por sello de tapa de motor	4	25
		Cambio de aceite PM1	2	120
		Cambio de empaque de tapa de motor	7	20
		Fajas desgastadas	2	20
	FRENOS	Falla válvula de breque	4	30

	ELÉCTRICO	Batería Descargada	6	20
		Cambio de carbones al alternador	5	25
		Cambio de bendix y solenoide	8	30
		Fusibles quemados	4	5
		Fallas del claxon	5	15
		Luces neblinero no encienden	6	10
	HIDRÁULICO	Reparación de bomba hidráulica por falla de presión	24	110
		Mangueras hidráulicas Rajadas	4	40
		Desgaste de sellos hidráulicos	4	30
		Falla de la bomba de dirección y traslación	8	120
	LUBRICACIÓN	Cambio de filtro transmisor	2	20
	MECÁNICO	Cable de acelerado endurecido	3	30
	ENFRIAMIENTO	Radiador obstruido	12	20
		Termostato pegado	8	40
		Cambio de rodaje de Bomba de agua	24	40
TOTAL			USD \$. 1110.00	